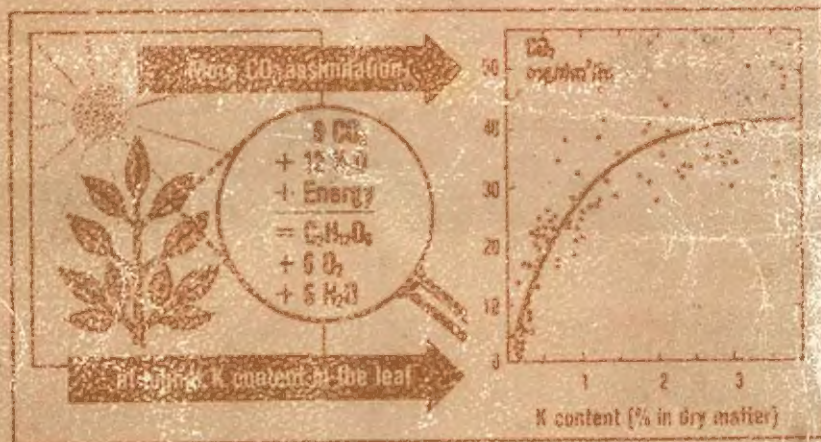




المركز القومي
للحفظ
مركز البصرة

التسميد وخصوبة التربة



تأليف

الدكتور كاظم سحرى عواد



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة البصرة

التسميد وخصوبة التربة

تأليف

الدكتور كاظم مشحوت عواد

كلية الزراعة - جامعة البصرة

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدمة

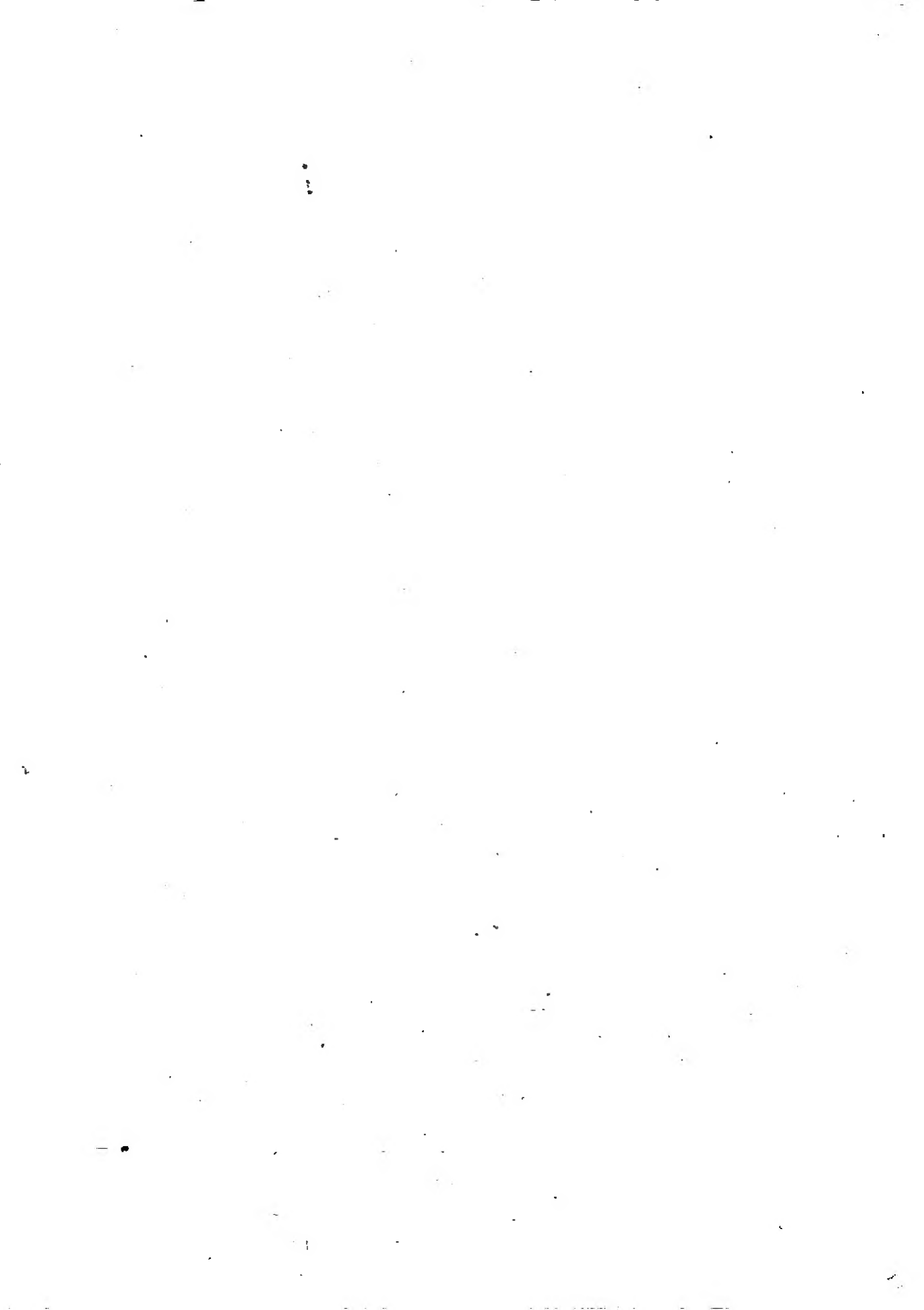
بسم الله الذي علم الإنسان ما لم يعلم ، أقدم هذا الجهد المتواضع داعي الله عز وجل أن يكون خير طريق لتطوير القابليات العلمية وتوضيح بعض آساس العلمية لعلوم التربة التي ترتبط بالانتاج الزراعي .

فقد عولج ضمن مفردات هذا الكتاب محتوى الترب من العناصر الغذائية (المغذيات) ودورها في حياة النبات النامي في الترب وتأثير خصائص الترب الكيماوية والفيزيائية على صور وسلوك المغذيات في التربة وجاهزيتها للنباتات . وكان لابد من مناقشة أسلوب معالجة نقص هذه المغذيات لتجنب التأثير السلبي على إنتاجية المحاصيل الزراعية . لذا فقد تم أيضا انواع الأسمدة الكيماوية والعنصرية وطرق تصنيعها وبعض خصائصها الهامة مع تحديد طريقة وموعد وكمية إضافة هذه الأسمدة وتأثير خواص التربة على أسلوب تحليلها بعد الاضافة وكفائتها للمحاصيل الزراعية المختلفة . إن محاولة ربط جميع الحلقات الخاصة بسلوك العناصر الغذائية في التربة ودورها في تغذية النبات النامي كانت تتطلب التركيز في شرح الأسس العلمية لجميع الفقرات التي بينت عليها مفردات الكتاب مع أغنائها بالدراسات التطبيقية التي أجريت في العراق أو في الوطن العربي أو في بلدان العالم الأخرى .

أتمنى ان يحقق هذا الكتاب الفائدة التي أرجوها لطلبتنا في كليات الزراعة مع الأمل أن يكون هذا المرجع عوناً لهم في دراستهم وزيادة قدرتهم في البحث والاطلاع .

والله الموفق

المؤلف



المحتويات	الصفحة
الفصل الاول	٩
العناصر الغذائية وخصوبة التربة	٩
تعريف وتقسيم العناصر الغذائية	٩
مصادر العناصر الغذائية	١٢
خصوبة التربة والعوامل المؤثرة عليها	١٩
العلاقة بين الانتاجية وخصوبة التربة	٣٥
قائمة المصادر	٤٨

الفصل الثاني	٥١
النايتروجين	٥٤
دورة النايتروجين	٥٤
معدنة النايتروجين العضوي	٥٦
عملية عكس النترجة	٦٦
تطاير الامونيا	٧١
محتوى التربة من النايتروجين والعوامل المؤثرة عليه	٧٩
صور النايتروجين في التربة	٨٤
تثبيت الامونيوم	٨٧
النايتروجين ونمو النبات	٩٤
اعراض نقص النايتروجين	٩٩
الميزان النايتروجيني	١٠٣
الاسمدة النايتروجينية	١٠٥
قائمة المصادر	١١٧

الفصل الثالث

الفسفور	١٢٣
صور الفسفور في التربة	١٢٥
تثبيت الفسفور	١٣٥
1 - امدصاص الفسفور	١٣٥
2 - تفاعلات الترسب	١٤٠
امتصاص الفسفور	١٥١
اعراض نقص الفسفور	١٦١
الاسمدة الفوسفاتية	١٦٢
تفاعلات الاسمدة الفوسفاتية	١٦٨

١٧٤	طريقة وموعد إضافة الاسمدة الفوسفاتية
١٧٨	قائمة المصادر

الفصل الرابع

١٨٣	البوتاسيوم
١٨٦	صور البوتاسيوم
١٩٠	تثبيت البوتاسيوم والعوامل المؤثرة عليه
١٩٣	الانزاع الكيميائي بين صور البوتاسيوم وجاهزيته
٢٠٢	البوتاسيوم ونمو النبات
٢٠٥	البوتاسيوم وامتصاص الماء
٢٠٦	العلاقة بين البوتاسيوم والنايتروجين
٢١١	العلاقة بين الصوديوم والبوتاسيوم
٢١٢	اعراض نقص البوتاسيوم
٢١٥	الاسمدة البوتاسية
٢١٦	كمية البوتاسيوم المضافة
٢١٨	طريقة وموعد إضافة الاسمدة البوتاسية
٢٢٠	قائمة المصادر

الفصل الخامس



الكبريت - الكالسيوم - المغنيسيوم

٢٢٣	الكبريت
٢٢٣	مصادر الكبريت
٢٢٤	معدنة الكبريت
٢٢٧	تفاعلات الكبريت بالتربة والعوامل المؤثرة
٢٣٢	فقد الكبريت في التربة
٢٣٢	الكبريت ونمو النبات
٢٣٧	اعراض نقص الكبريت
٢٣٨	الكبريت المعدني
٢٤١	أسمدة الكبريت
٢٤٢	الكالسيوم
٢٤٢	الكالسيوم في التربة
٢٤٣	صور الكالسيوم في التربة
٢٤٧	الكالسيوم ونمو النبات
٢٤٩	اعراض نقص الكالسيوم

٢٥٠	..... صور المغنيسيوم
٢٥١	..... المغنيسيوم في التربة
٢٥٢	..... صور المغنيسيوم
٢٥٥	..... العوامل المؤثرة على جاهزية المغنيسيوم
٢٥٦	..... المغنيسيوم ونمو النبات
٢٥٦	..... اعراض نقص المغنيسيوم
٢٥٨	..... أسمدة المغنيسيوم
٢٥٨	..... قائمة المصادر

الفصل السادس

الزنك - النحاس - المنغنيز

٢٦١	..... الزنك
٢٦١	..... مصادر ومحتوى الزنك في الترب
٢٦٢	..... صور الزنك في التربة
٢٦٥	..... الزنك الجاهز في الترب
٢٦٦	..... العوامل التي تؤثر على جاهزية الزنك
٢٧٤	..... الزنك والعناصر الغذائية الصغرى الاخرى
٢٧٥	..... الزنك ونمو النبات
٢٧٦	..... اعراض نقص الزنك
٢٧٦	..... اسمدة الزنك وطرق اضافتها
٢٧٩	..... النحاس
٢٧٩	..... النحاس في التربة
٢٨٠	..... صور النحاس في التربة
٢٨٢	..... العوامل التي تؤثر على جاهزية النحاس
٢٨٨	..... النحاس ونمو النبات
٢٨٩	..... اعراض نقص النحاس واسلوب المعالجة
٢٩١	..... المنغنيز
٢٩١	..... المنغنيز في التربة
٢٩٤	..... العوامل التي تؤثر على جاهزية المنغنيز
٣٠٢	..... المنغنيز ونمو النبات
٣٠٣	..... اعراض نقص المنغنيز واسلوب المعالجة
٣٠٥	..... قائمة المصادر

الفصل السابع

٣٠٩	الحديد - البورون - الموليبدنيوم
٣٠٩	الحديد
٣٠٩	الحديد في التربة
٣١٠	صور الحديد في التربة
٣١٣	العوامل التي تؤثر على جاهزية الحديد
٣٢٥	دور الحديد في النبات واعراض نقصه
٣٢٩	البورون
٣٢٩	البورون في التربة
	صور البورون في التربة
٣٣٣	العوامل التي تؤثر على جاهزية البورون
٣٤٠	البورون ونمو النبات
٣٤١	اعراض نقص وسمية البورون
٣٤٣	الموليبدنيوم
٣٤٤	الموليبدنيوم في التربة
٣٤٤	صور الموليبدنيوم في التربة
٣٤٧	العوامل التي تؤثر على جاهزية الموليبدنيوم
٣٥١	الموليبدنيوم ونمو النبات
٣٥٣	اعراض نقص الموليبدنيوم واسلوب معالجتها
٣٥٦	قائمة المصادر

الفصل الثامن

٣٦٣	الاسمدة وتسميد المحاصيل الزراعية
٣٦٣	المقدمة
٣٦٤	الاسمدة المعدنية والعضوية
٣٧٣	تعفن السماد
٣٧٧	تحلل الاسمدة العضوية في التربة
٣٨١	العوامل الواجب مراعاتها عند اجراء عملية التسميد
٣٩٠	قائمة المصادر
٣٩١	فهرست المصطلحات العلمية

الفصل الأول

العناصر الغذائية وخصوبة التربة

تعريف وتقسيم العناصر الغذائية

يحتاج النبات الى الغذاء كأبي كائن حي لكي يقوم بعملياته الحيوية الخاصة بنشاطه ونموه. كما إن الغذاء يساهم في بناء أنسجة tissues النبات التي تتكون من الكربوهيدرات Carbohydrates والدهون fats والبروتينات proteins و nucleoproteins. ويحتاج النبات لتكوين مثل هذه المكونات الى أنزيمات enzymes خاصة يساهم الغذاء أيضاً في تكوينها. إن غذاء النبات عبارة عن عناصر معدنية يطلق عليها بالعناصر الغذائية وهي تجهز للنبات من التركيب الكيميائي للماء والهواء والتربة. وهذا يعني إنه لا يمكن تسميه جميع العناصر الكيميائية الداخلة في تركيب القشرة الارضية وهواء التربة والماء بالمغذيات بل يحدد ذلك احتياج النبات ومدى مساهمة هذه العناصر في بناء أنسجة النبات. لذا فإن الاسس التالية يمكن اعتبارها حداً فاصلاً للتمييز بين العناصر الكيميائية المختلفة والعناصر الغذائية المطلوبة لسد احتياجات النبات في دورة حياته:

(1) إن غياب العنصر الغذائي في وسط النمو يعرقل نمو النبات مما يؤثر وبشكل مباشر على دورة حياته.

(2) يشترك العنصر الغذائي في الهيكل البنائي لأنسجة النبات المختلفة وكذلك يساهم في العمليات الحيوية metabolic processes مثلاً النظام الأنزيمي الذي يؤدي دوراً هاماً في تطوير مراحل نمو النبات.

(3) إن نقص أحد العناصر الغذائية وليس جميعها قد يؤثر بشكل أو بآخر على سير العمليات الحيوية ويظهر نتيجة ذلك عيوباً خاصة يطلق عليها بأعراض

نقص العنصر . وغالباً ما تظهر اعراض النقص بهيئة اللون خاصة او تحورات فسيولوجية معينة .

ووفقاً لما حدده (Arnon and Stout, 1939) فإن العناصر الغذائية التالية يمكن اعتبارها عناصر هامة للعمليات الحيوية اللازمة لنمو ونطور النبات :

Iron	Fe	الحديد	Carbon	C	الكاربون
Manganese	Mn	المغنيز	Hydrogen	H	الهيدروجين
Copper	Cu	النحاس	Oxygen	O	الاوكسجين
Zinc	Zn	الزنك	Nitrogen	N	النيتروجين
Molybdenum	Mo	المولبيدنيوم	Phosphorus	P	الفسفور
Boron	B	البورون	Sulphur	S	الكبريت
Chlorine	Cl	الكلورين	Potassium	K	البوتاسيوم
(Sodium)	(Na)	(الصوديوم)	Calcium	Ca	الكالسيوم
(Silicon)	(Si)	(السيليكون)	Magnesium	Mg	المغنيسيوم
(Cobalt)	(Co)	(الكوبلت)			

وقد أضيف عنصر الكلورين الى قائمة العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات من قبل (Broyer et al. 1954) . أما العناصر الغذائية ، الصوديوم والسيليكون والكوبلت - فلا يمكن النظر اليها كعناصر غذائية ضرورية في معظم الاحوال . فأيون الصوديوم مثلاً يحتاجه بعض انواع النباتات خصوصاً تلك النامية في ظروف ملحية بسبب توفر تركيزات عالية في مثل هذه الترب . واذا أستثنينا احتياج محصول البنجر السكري الى ايون الصوديوم كعنصر غذائي بالظروف الاعتيادية ومساهمته في زيادة انتاجه فإنه لا يمكن النظر اليه كذلك في الاحوال الأخرى . ويمكن شمول السيليكون بهذه الحقيقة إذ يعد ضرورياً لحد ما لنبات الرز .

يأخذ النبات بعض هذه العناصر الغذائية من الماء والهواء مثل الكاربون - الهيدروجين - والاوكسجين . إذ يتفاعل الماء مع ثاني اوكسيد الكاربون خلال عملية التركيب الضوئي لتكوين مواد كاربوهيدراتية بسيطة تساهم مع الاحماض الامينية amino acids والبروتينات في بناء مكونات الخلية . إن هذه العناصر الغذائية الثلاثة وعناصر غذائية أخرى مثل الفسفور - والنيتروجين - والكبريت التي تجهز من التربة تعتبر الاساس في بناء بروتوبلازم الخلية النباتية plant cell protoplasm . ولهذا فإن احتياج اي نبات من هذه العناصر الغذائية كبير بالمقارنة مع ما يحتاجه من العناصر الغذائية الأخرى التي تدخل غالباً

في تركيب الانزيمات . إنَّ النبات يحتاج الى العناصر الغذائية المختلفة يأخذ معظمها من التربة (باستثناء الكربون - الهيدروجين - الاوكسجين) لاكمال مراحل نموه وتطوره . لهذا فإن زراعة الارض سنة بعد أخرى تؤدي الى أن يستنفذ النبات معظم العناصر الموجودة فيها فتصبح فقيرة ويقل الحاصل لدرجة قد يصبح غير اقتصادي . ومن هذه النقطة تأتي اهمية الدراسة الدقيقة للعناصر الغذائية واحتياجات المحصول الزراعي اليها .

ووفقاً للاحتياجات المطلوبة من اي عنصر غذائي من قبل النباتات النامية فقد تم تقسيم العناصر الغذائية المختلفة الى قسمين :

1- العناصر الغذائية الكبرى (Macronutrients (Major nutrients

وهي العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكمية كبيرة تقدر بحوالي بضعة كيلوغرامات الى 200-300 كيلوغرام لكل هكتار وهي :

الكربون والهيدروجين والاكسجين والنايتروجين والفسفور والكبريت والبتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم و (الصوديوم - السيليكون) .

2- العناصر الغذائية الصغرى (Micronutrients (Minor nutrients

وهي العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات ولكن يحتاجها النبات بكميات تقدر بحوالي بضعة غرامات الى بضعة مئات من الغرامات وتضم الآتي :

الحديد والمنغنيز والنحاس والزنك والمولبيديوم والبورون والكلورين والكوبلت والفانديوم .

ويوضح جدول (١) معدل احتياج العناصر الغذائية اللازمة لنمو المحاصيل الزراعية .

جدول (1) المعدل التقريبي لكميات العناصر الغذائية الصغرى والكبرى التي يحتاجها النبات (Cooke, 1975).

العناصر الغذائية الكبرى		العناصر الغذائية الصغرى	
العنصر	الكمية كغم / هكتار	الكمية غم / هكتار	العنصر
النايتروجين	100	الحديد	600
البوتاسيوم	100	المنغنيز	600
الكالسيوم	50	الزنك	200
الفسفور	15	البورون	200
المغنيسيوم	15	النحاس	100
الكبريت	30	المولبدنيوم	10
		الكوبلت	1

إن هذا التقسيم بني على اساس كمي معبر عن محتوى أنسجة النبات من العناصر الغذائية . لهذا يرى البعض عدم دقة هذا التقسيم وضرورة ربط أي تقسيم مقترح مع الاحتياجات الفسيولوجية الفعلية لأي عنصر غذائي . وهناك أمثلة متعددة تشير الى أن محتوى أنسجة النبات لبعض العناصر الغذائية الصغرى مثل الحديد والمنغنيز يفوق أو يساوي محتوى النبات من الكبريت والمغنيسيوم وقد يكون هذا إما بسبب الاحتياج الفسيولوجي أو بسبب زيادة تركيز هذه العناصر في وسط النمو . لذا بدأ الاتجاه نحو محاولة تقسيم العناصر الغذائية وفقاً لسلوكها الكيميائي وتأثيراتها الفسيولوجية (Mengel & Kirkby, 1982).

مصادر العناصر الغذائية

إن من أهم المصادر التجهيزية للعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات والتي تساهم في تعويض ما يفقد من محلول التربة هي :

1- الطور الصلب لمكونات نظام التربة :

لو حاولنا إستبعاد جميع المصادر التجهيزية الأخرى فإن الطور الصلب لمكونات نظام التربة يعتبر مخزناً لمعظم العناصر الغذائية عدا النايروجين والكبريت . إن محتوى التربة من العناصر الغذائية يفوق مئات المرات احتياجات المحاصيل

المزروعة ولكن قدرة هذه العناصر للانطلاق الى محلول التربة لكي تصبح بحالة جاهزة للامتصاص من قبل أي نبات تحتاج الى وقت قد يتجاوز حدود موسم زراعة أي محصول. فعلى سبيل المثال لقد وجد (Pagel, 1983) إنَّ محتوى الفسفور الكلي في 600 عينة ترابية مختلفة يتراوح بين 0.3-100 طن فسفور لكل هكتار ولكن الكمية الجاهزة للامتصاص من قبل النبات لا تتجاوز 0.2% من الكمية الكلية. وهذا بالطبع يشير بوضوح الى حجم الاحتياطي الموجود من الفسفور في مثل هذه التربة. وعند دراستنا لمحتوى بعض الترب الزراعية في محافظة البصرة من الزنك Zinc الكلي ومقارنته مع الكمية القابلة للامتصاص من قبل الذرة الصفراء وجدنا ان هذه الكمية لا تزيد عن 0.5% من محتوى الزنك الكلي في الترب المدروسة (Awad, 1982). ويعتبر الجزء المعدني من الطور الصلب ذا قدرة تجهيزية عالية للعديد من العناصر الغذائية المختلفة خلال عمليات التجوية لمكونات هذا الجزء.

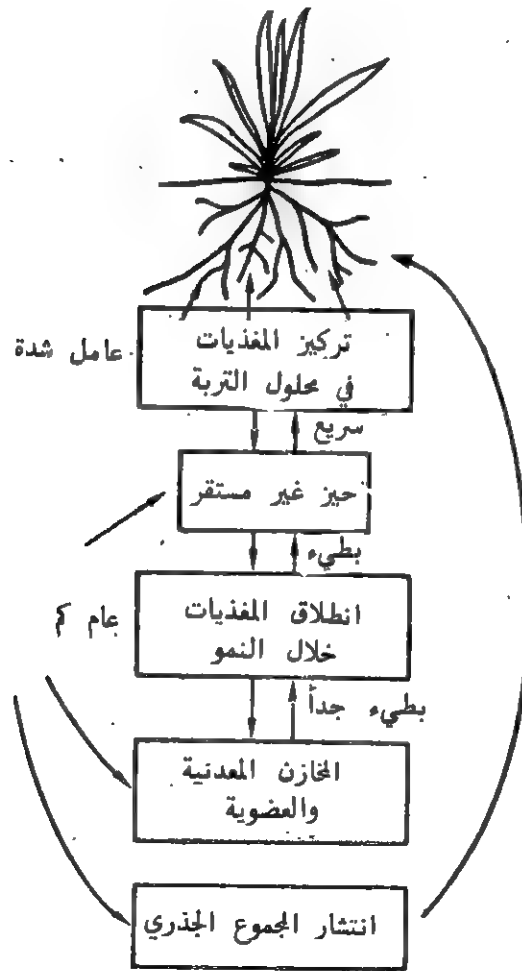
يمكن النظر بإهتمام الى الجزء العضوي (المادة العضوية) من الطور الصلب وذلك لقدرتها التجهيزية لبعض العناصر الغذائية مثل النايروجين والفسفور والكبريت وبعض العناصر الغذائية الصغرى. وتحتاج عملية انطلاق هذه العناصر من الجزء العضوي فترة من الزمن حتى لو توفرت الظروف المناسبة للتحلل.

وبالتأكيد فإن الكمية الدائبة في محلول التربة من أي عنصر لا تمثل الكمية الكلية لذلك العنصر بالتربة، بل يتوزع العنصر الغذائي في مواقع مختلفة بالتربة ويكون ارتباطه بهذه المواقع محكوماً بقواعد الاتزان الكيمياوي غالباً. لهذا فإن دراسة قدرة الطور الصلب لتعويض replenishment مايزال من محلول التربة يتطلب دراسة تركيب محلول التربة والطور الصلب معاً وتأثير ذلك على امداد العناصر الغذائية للنبات خلال فترة النمو. ويمكن القول إن وفرة العنصر الغذائي بالتربة لتلبية إحتياجات النبات لا تعتمد على تركيز العنصر في محلول التربة الذي يعبر عنه بعامل الشدة Intensity factor بل على المصادر التجهيزية للطور الصلب التي يعبر عنها بعامل الكم quantity factor يمكن تحديدها بالتالي:

- (1) الكمية التي هي بحالة توازن سريع مع ما موجود في محلول التربة - مثل البوتاسيوم المتبادل والفسفور المتص على السطح.
- (2) الكمية التي هي بحالة توازن متوسط مع ما موجود في محلول التربة - مثل البوتاسيوم المثبت fixed-potassium والفسفور حديث الترسيب.
- (3) الكمية التي هي بحالة توازن بطيء مع ما موجود في محلول التربة مثل النايروجين والفسفور والكبريت المتواجد في تركيب المادة العضوية والذي

يحتاج الى فترة تحليل ، وكذلك المركبات القليلة الذوبان مثل مركبات الفوسفات وبعض العناصر الغذائية الصغرى . ويوضح الشكل (١) توزيع الفسفور في المواقع التجهيزية المختلفة وظبيعة التوازن بين هذه المواقع حسب وصف (William, 1970) .

إن قدرة المواقع التجهيزية المختلفة على تعويض ما يزال من محلول التربة بعد إمتصاصه من قبل النبات أو فقده بأي وسيلة كانت تعتمد على عامل هام ألا وهو قوة التربة التنظيمية Soil buffering power وهي عبارة عن مقياس دقيق جامع لخصائص التربة الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية . ويعبر عنها رياضياً بالآتي :

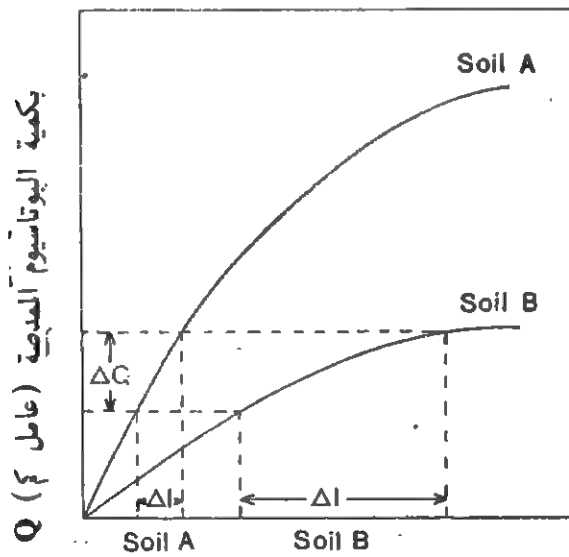


الشكل (1) التوازن الكيميائي بين عامل الشدة وعامل الكم وعلاقته بالقدرة التجهيزية للمغذيات (Williams, 1970)

قوة التربة التنظيمية = $\frac{\text{التغير في عامل الكم}}{\text{التغير في عامل الشدة}}$

$$\frac{\Delta Q}{\Delta I} =$$

وتشير القيم العالية لهذه النسبة الى القوة التنظيمية العالية للتربة . وعند دراسة العلاقة بين تركيز ايونات البوتاسيوم في محلول التربة والكمية الممتصة في تربتين ذات سعة امتصاصية adsorption capacity مختلفة (شكل - 2) ، يمكن القول بان ازالة كمية متساوية من البوتاسيوم الذائب في محلول التربتين لايعني القدرة المتساوية لهذه الترب على التعويض . فالتربة « أ » تبدو ذات قدرة تنظيمية اكبر من التربة « ب »



1. تركيز ايون البوتاسيوم (عامل شدة) I

في المحلول (عامل شدة) I

شكل (2) العلاقة بين تركيز البوتاسيوم في محلول التربة وعامل الكم في تربتين ذات سعة امتصاصية مختلفة .

2- الامطار

تعتبر الامطار من المصادر الطبيعية المجهزة للعناصر الغذائية ويوضح الجدول (3) التركيب الايوني للامطار الساقطة على بعض البلدان . لذا يمكن اعتبار الامطار مصدراً هاماً في تجهيز التربة ببعض العناصر الغذائية كالكبريت والنايتروجين مثلاً .

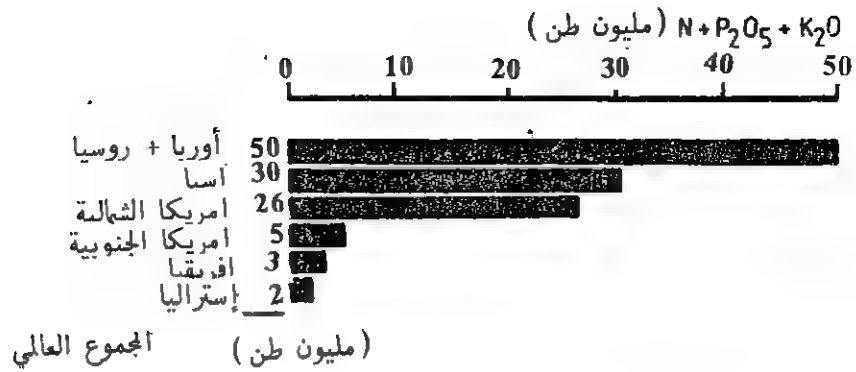
وفي المناطق الزراعية القريبة من المصانع يقل إستخدام الاسمدة الحاوية على الكبريت بسبب ماتضيفه الامطار من كميات قد تصل الى سد الاحتياجات المطلوبة من قبل الحاصل المزروعة . وتقدر كمية الكبريت المضافة سنوياً الى التربة بواسطة الامطار بحوالي 15-100 كغم كبريت / هكتار .

جدول (3) التركيب الايوني للامطار الساقطة سنوياً (استل من 1975 (Cooke).

الغنصر	السويد	النرويج	استراليا
	كغم عنصر / هكتار		
نايتروجين / امونيوم	4.0-0.7	6-0.8	0.7
نايتروجين / نترات	0.8-0.15	-	0.5-0.8
فسفور	-	19-3	-
كبريت	-	8-0.8	(2)
بوتاسيوم	3.5-1.1	14-3	0.3
كالسيوم	19-6	17-0.4	-
مغنيسيوم	-	148-0	0.2
صوديوم	30-4	257-1	1.1
كلورين	40-2.5	-	1.8-1.6

3- الاسمدة الكيماوية

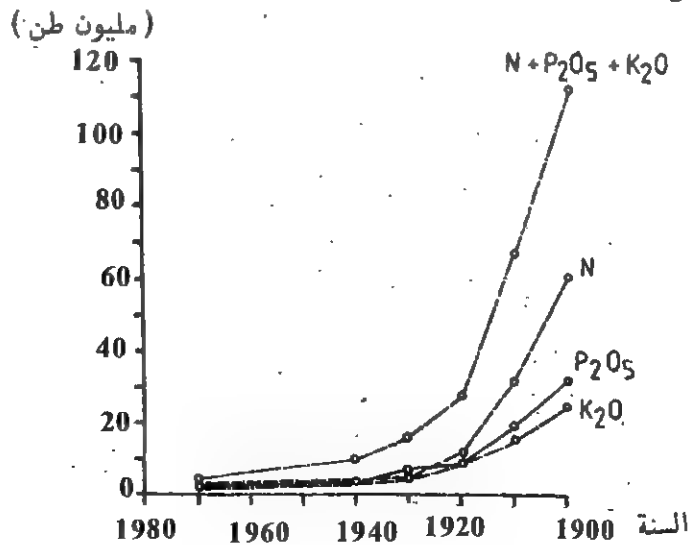
تأتي اهمية الاسمدة الكيماوية (المعدنية والعضوية) في تعويضها السريع للنقص الموجود في التربة من العناصر الغذائية المهمة للنبات وكذلك يمكن التحكم في نوع العناصر المراد إضافتها الى التربة وكميتها وذلك لتعويض ذلك النقص بالإضافة الى سهولة استعمالها وإضافتها للنبات واستجابة الحاصل السريعة مما ينعكس ذلك على الإنتاج وتحسين نوعيته . ولهذا السبب زاد الاستهلاك العالمي للأسمدة بشكل لا يقبل المقارنة فقد كان مساوياً الى 1.5 مليون طن متري في بداية القرن العشرين ومالبت أن ارتفع الى 9.3 مليون طن متري في عام 1938/39 ولكنه انخفض خلال الحرب العالمية الثانية الى 2 مليون طن . وكان الاستهلاك العالمي في 1981/82 حسب تقرير FAO لعام 1982 (الشكل - 3) يساوي 116 مليون



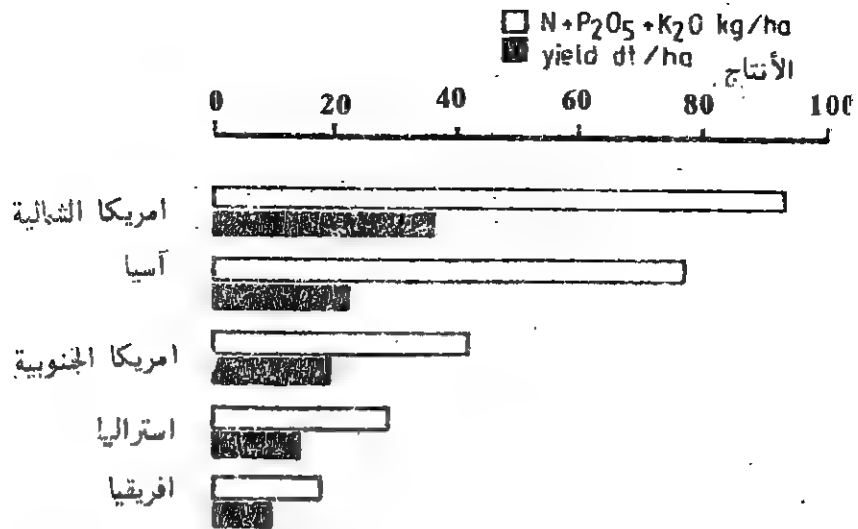
الشكل (3) الاستهلاك العالمي للأسمدة الكيماوية موزعة حسب مواقع الاستهلاك (FAO, 1982).

طن . وتبين منحنيات الشكل (4) واقع المقارنة في الاستهلاك العالمي للأسمدة للفترة ما بين 1906-1980 حسب تقرير FAO لسنة 1982 .

إن زيادة الاستهلاك العالمي للأسمدة أدى إلى ارتفاع الانتاج بحدود 50-75% بمجرد استخدام كميات قليلة من الأسمدة لا تتجاوز 50-70 كغم مغذي لكل هكتار . وهذا لا يمكن تقليل دور الأسمدة في زيادة خصوبة التربة مما ينعكس ذلك بالإيجاب على انتاجية المحاصيل الزراعية (الشكل - 5) .

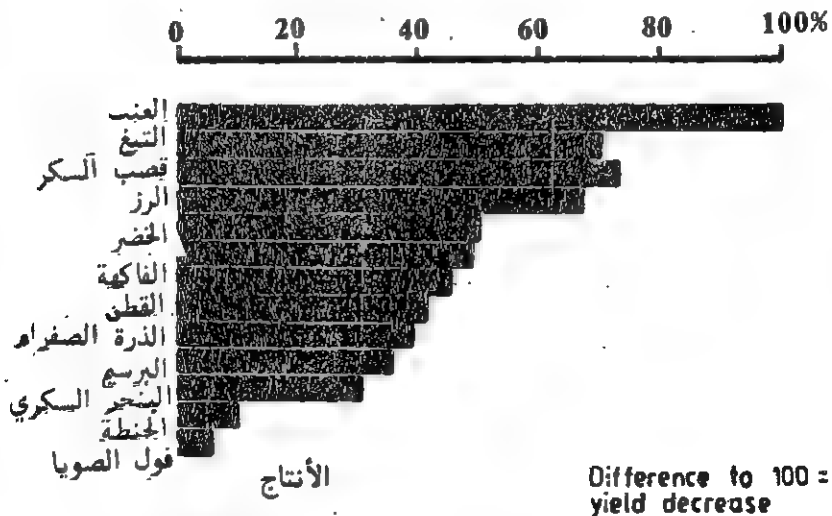


الشكل (4) الاستهلاك العالمي للأسمدة الكيماوية للفترة ما بين 1906-1980 (FAO, 1978; 1982)



الشكل (5) العلاقة بين استهلاك الاسمدة و انتاجية محاصيل الحبوب في مناطق مختلفة من العالم (FAO, 1982)

وطبقاً لانتاج Viets, 1971 يتبين الدور الهام للأسمدة الكيماوية على انتاجية المحاصيل الزراعية المختلفة. ومن خلالها يمكن ايضاح صورة المقارنة بين الانتاج بعد اضافة الأسمدة الكيماوية وحجبها (الشكل - 6).



الشكل (6) النبة المئوية لانخفاض انتاجية المحاصيل الزراعية بعد حجب الاسمدة النيتروجينية والفوسفاتية من محاصيل مختلفة (Viets, 1971).

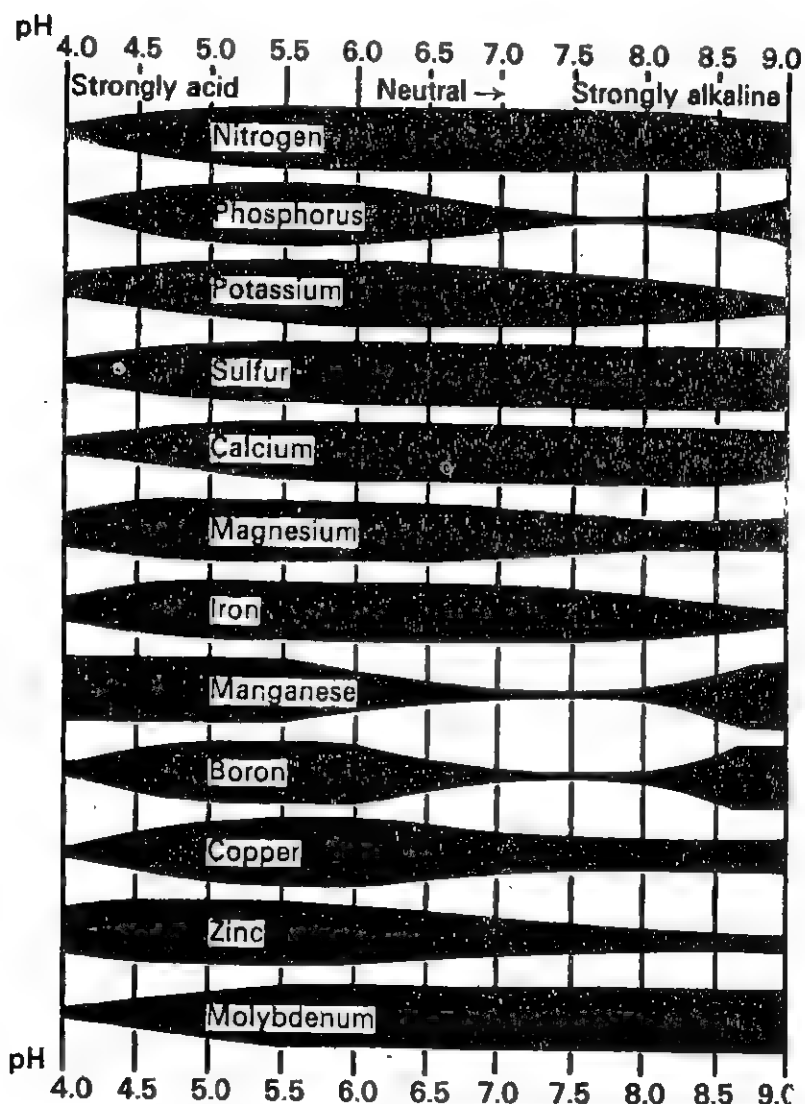
خصوبة التربة والعوامل المؤثرة عليها

عندما نحاول دراسة خصوبة التربة لابد من حصر هذه الدراسة في مجال خاص يرتبط بما تحتويه التربة من العناصر الغذائية وقدرتها على تجهيز النبات النامي لكي يكمل دورة حياته . ومن خلال ذلك يمكن تحديد ما يقصد بمفهوم « خصوبة التربة » بأنه قدرة التربة على امداد العناصر الغذائية بالكميات والصور الملائمة لنمو النبات . وهذا يعني إنه لكي تكون التربة الزراعية خصبة لابد من أن تكون ذات قدرة تجهيزية من العناصر الغذائية الى النبات النامي مما ينعكس ذلك إيجاباً على نمو المحصول وإنتاجه . وبهذا يمكن القول بأن الاراضي الزراعية تختلف فيما بينها بمحتواها من العناصر الغذائية وقدرتها التجهيزية . إن زراعة الارض سنة بعد أخرى سيؤدي الى استنفاد معظم المغذيات من قبل النبات وبذلك فإنها تتحول الى أرض فقيرة يقل حاصلها الى درجة قد يصير غير اقتصادي . إن العادة المتبعة لدى معظم الزراع العراقيين لتخفيف هذا التدهور في الاراضي الزراعية هو استعمال الأسمدة العضوية أو ترك الارض بوراً وزراعتها سنة وتركها السنة الأخرى بدون زراعة . إن البحوث الزراعية محلياً ومواكبه التقدم الزراعي جعل بالامكان استعمال الاسمدة الكيماوية على نطاق واسع في العراق مما سيساعد على زيادة الانتاج ، ويمكن القول وبدون اي تردد ان استعمال الاسمدة يزيد من خصوبة التربة ويجهز النبات بما يحتاجه من العناصر الغذائية لذا تقوم الحاجة الى تحليل التربة والنبات لتقدير حاجة النبات ومقدار جاهزية العناصر الغذائية في التربة . وتستعمل طرق متعددة لتقدير خصوبة التربة واحتياجات النبات للعناصر الغذائية منها بايولوجياً وكيميائياً . فقد تكون التربة خصبة وذلك لاحتوائها على كميات كافية من العناصر الغذائية الضرورية للنبات ومع هذا فهي قد تكون غير منتجة أما لأنها تحتوي على الاملاح الضارة التي تعيق نمو النبات وأما لسوء تركيبها ، وهذا يتطلب اصلاحها قبل زراعتها ، وان العوامل التي تؤثر على خصوبة الاراضي الزراعية عديدة يمكن تحديدها بالآتي :

1- درجة حموضة التربة Soil-pH

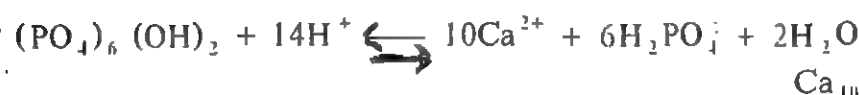
يؤثر pH التربة على نمو النبات وتطوره من خلال تأثيراته على جاهزية العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات . وتكون القيم التي بين 6-7 هي الأنسب لأستغلال العناصر الغذائية من قبل النبات (شكل 7) ومع هذا فقد تختلف النباتات عن بعضها بهذه الخاصية . ويمكن تحديد التأثيرات التالية عند انخفاض تركيز ايونات الهايدروجين أو زيادته في محلول التربة :

(أ) إن زيادة قلوية التربة (ارتفاع PH التربة) تساهم في صلاحية بعض العناصر الغذائية مثل الفوسفات التي تتحول الى صور قليلة الذوبان (فوسفات ثلاثي الكالسيوم) وكذلك تكون معظم العناصر الغذائية الصغرى إذ نقل جاهزيتها للامتصاص من قبل النبات ، ويصبح الوسط ايضا ملائماً لتطايير الامونيا من الأسمدة النايتروجينية المضافة .



شكل (7) تأثير قيمة pH التربة على جاهزية العناصر الغذائية : الاجزاء الغامقة تمثل اقصى جاهزية (Lucas & Davis, 1961)

(ب) إن زيادة تركيز ايونات الهايدروجين في محلول التربة تشجع عملية التجوية للمعادن الترابية مما يؤدي الى انطلاق العديد من العناصر الغذائية مثل K^+ و Mg^{2+} و Mn^{2+} والالمنيوم كما تعمل على اذابة العديد من الاملاح مثل أملاح الكربونات والفوسفات والكبريتات ، كما تبين ذلك المعادلات الآتية :



(ج) إن انطلاق عدد من العناصر المعدنية نتيجة لعملية التجوية الى محلول التربة يؤدي الى زيادة تركيزاتها ، وقد تتجاوز حدود الاحتياجات المطلوبة مما ينعكس ذلك سلباً على الانتاج الزراعي بسبب التأثير السمي . ولقد اوضحت نتائج التجربة التي قام بها (Adams & Lunds, 1966) بأن جذور القطن تتأثر معنوياً في حالة وجود تركيز يزيد عن 1.1×10^{-5} مول / لتر . كما إن نتائج (Vlams, 1953) الموضحة في جدول (4) تؤيد صحة تلك الاستنتاجات .

جدول (4) تأثير تركيز العناصر المعدنية على نمو محصول الشعير

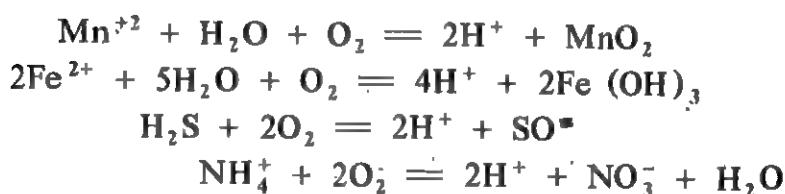
المعاملة	ملغم / سم ³ التركيز في محلول التربة	pH	Al	Mn	انتاج الشعير ملغم
بدون معاملة	4.2	1.8	16.0	139	
معاملة مع $Ca(OH)_2$	5.8	0.4	12.8	340	
معاملة مع NaOH	5.8	0.4	12.0	286	

(د) يؤثر pH التربة على نشاط احياء التربة ويحدد أيضا نوعية هذه الكائنات الدقيقة . ويمكن الأخذ بما حدده (Trolldenier, 1971) بأن السيادة تكون للعطريات عند pH اقل من 5.5 بينما تكون السيادة الى البكتريا عند pH اعلى من ذلك . وهذا يعني أن الكثير من النشاطات البايولوجية

والعمليات المرتبطة بها تتحدد بدرجة حموضة التربة . ولكن غالباً ماتكون الظروف المتعادلة مفضله لمعظم تلك العمليات .

(هـ) تؤثر درجة حموضة التربة على تحديد نوعية الصور السائدة في محلول التربة مما يحدد ذلك طبيعة امتصاص العناصر الغذائية . فالايونات السالبة مثل النترات nitrate والفوسفات phosphate تمتص بدرجة كبيرة في الظروف القليلة الحموضة بسبب سيادة الصور الملائمة للامتصاص مثل $H_2PO_4^-$. وإن امتصاص الايونات الموجبة يكون اكثر في ظروف الاعتدال (Arnon et al. 1942).

(و) تؤثر درجة حموضة التربة على قيمة السعة التبادلية الكاتيونية إذ ترتفع مع ارتفاع قيم pH الترب عندما تضاف الشحنة السالبة المرتبطة في قيمة الـ pH التي يكون مصدرها غالباً المادة العضوية ومكوناتها (المجاميع الفعالة) الى كمية الشحنة السالبة الناتجة من الاحلال المتبادل - أي الشحنة الدائمة .
(ز) تؤثر درجة حموضة التربة على سير العديد من تفاعلات الاكسدة والاختزال بالتربة . كما تصف ذلك المعادلات التالية



2- قوام التربة والتركيب المعدني

يتكون الطور الصلب لنظام التربة من جزئين أولهما عبارة عن مكونات معدنية والثاني عبارة عن مكونات عضوية . إن المكونات المعدنية عبارة عن خليط معادن اولية وثنائية تأخذ أحجاماً مختلفة تحددها عوامل تكوين التربة وظروفها . أي انه يمكن القول إن الجزء المعدني يتوزع حجباً الى حبيبات هي الرمل (2-0.02 ملم) والغرين (0.02-0.002 ملم) والطين (أقل من 0.002 ملم) . ويعبر عن هذا التوزيع الحجمي بقوام التربة Soil texture . ومن خلاله يمكن التعرف على الخواص الفيزيائية والكيميائية للتربة . أما المكونات العضوية فهي عبارة عن المواد العضوية القديمة المقاومة للانحلال أو المواد والخلفات العضوية التي لم تتحلل بعد .

ولمكونات الطور الصلب أهمية خاصة من ناحية خصوبة التربة بما لها من دور في التفاعلات التي تتصل بالعناصر الغذائية وأثر ذلك على صورها الكيميائية

الكيميائية والفيزيائية للتغذية النبات . فالطين يؤدي دوراً أساسياً في خواص التربة مكونات التربة قدرة على الاحتفاظ بالماء وله تأثير كبير على سهولة خدمة الارض الزراعية أو صعوبة التهوية وكذلك على قدرة الجذور على النمو فيها . كما يمكن اعتبار الطين مصدراً لعدد محدود من العناصر الغذائية وكذلك قدرته على الاحتفاظ بها بصورة صالحة .

إن لنوع معدن الطين دوراً مؤثراً على جاهزية العناصر الغذائية فمن خلال خصائص المعدن الشيني السائد يتحدد ذلك الدور ، فمعدن الطين 1:1 مثل معدن الكاولينيات Kaolinite تمتاز بقلة السعة التبادلية الكاتيونية وبالتالي بقلة دورها المؤثر في الاحتفاظ بالعناصر الغذائية . وتختلف هذه الخصائص عندما نتطرق الى الخصائص لمجموعة معادن الطين 2:1 التي تؤثر من خلال قيمة السعة التبادلية الكاتيونية العالية وقدرتها التثبتية لبعض المغذيات كالبوتاسيوم والامونيوم كما يحصل ذلك في معادن الفيرمايكولايت Vermiculite . هذا بالإضافة لما لخصائص التركيب النباتي والكيميائي لمعادن التربة المختلفة من مساهمة في تحديد حالة الاتزان الكيميائي للعناصر الغذائية والتداخل بين الطورين الصلب والسائل .

3- محتوى الترب من المادة العضوية

إنَّ المادة العضوية حيوانية بغض النظر عن عبارة عن المواد المتبقية من الكائنات الحية نباتية كانت ام اهمها الكربون والهايدروجين والاكسجين والنايتروجين والكبريت والفسفور وغيرها من العناصر العضوية الذي بلغ درجة تحللها . وتتركب من عدد من العناصر الغذائية المعنوية . ويعرف الدبال Humus بأنه الجزء من المادة الحبيطة . إنَّ الاراضي Peat المعروفة باسم هي الاراضي الزراعية تختلف في محتواها من المواد العضوية فالاراضي الكمية الى حوالي 1% هي اقل في بعض الاراضي في جنوب العراق . ويمكن ايجاز دور المواد العضوية في تحديد خصوبة التربة بالآتي .

(1) تعتبر المادة العضوية مصدرراً رئيسياً للنايتروجين الذي ينطلق خلال تحلل المركبات تعتبر هذه المادة مصدرراً رئيسياً للنايتروجين الذي ينطلق خلال تحلل المركبات الى الاراضي الزراعية بفعل النشاط الخاص لحياء التربة . لذا يمكن النظر النايتروجين وتحتا عية الفقيرة في المادة العضوية عموماً بأنها فقيرة في الى التسميد النايتروجيني لسد النقص .

(2) إن من خواص الدبال امتلاكه السعة التبادلية الكاتيونية التي تتوقف قيمتها على درجة حموضة التربة كما سبق ذكره . كما تتأثر الصفات التأينية للصيغ الفعالة التي يحملها الدبال (المجاميع الكربوكسيلية والفينولية) أيضاً . وللدبال سطح نوعي يزيد من القدرة الحافظة للماء في الترب لذا يفضل اضافته الى

(3) يتحد الدبال مع حبيبات الطين في صورة اغشية عضوية ومع الحبيبات المعدنية مما يساعد ذلك على تكوين حبيبات مركبة اي تحسين صفات التربة الفيزيائية وينعكس ذلك على تحسين بناء التربة مما يخلق ظروفاً جيدة لسريان الماء والتهوية . إن الارتباط بين الدبال والجزيئات العضوية الأخرى وبين حبيبات الطين يتم غالباً من خلال روابط هايدروجينية بين المجاميع الكربوكسيلية والهايدروكسيلية العضوية وبين الاوكسجين على سطح الحبيبات المعدنية . وتؤدي قوى فان درفالس Van der Waals bonds دوراً كبيراً في عملية الربط أيضاً .

(4) إنَّ للمادة العضوية دوراً في المحافظة على القدرة التنظيمية للأراضي Soil buffering Capacity من خلال ايونات الهايدروجين المنطلقة من المجاميع الكربوكسيلية . كما تؤثر على صلاحية العديد من العناصر الغذائية من خلال التفاعلات العديدة التي تتم بينها ، ومنها مساهمة المادة العضوية في تحويل بعض العناصر الغذائية الى صورة صالحة لتغذية النبات .

لهذا يمكن القول إن للمادة العضوية دوراً رئيسياً في التأثير على خصوبة التربة . فزيادة محتوى اي ارض من المادة العضوية يعني زيادة خصوبتها ولكن لايعني هذا أن الأراضي ذات المحتوى المنخفض ليست دائماً غير خصبة ، بدليل إن معظم الأراضي الصحراوية منخفضة المحتوى من المادة العضوية ويمكن جعلها بحالة خصبة جداً عند وضعها تحت نظام زراعي خاص .

(4) محتوى الترب من الاملاح الذائبة

في المناطق الجافة وشبه الجافة arid & Semi-arid regions يقل معدل الترسيب precipitation (الندي والمطر) عن الحدود التي تساهم في غسل الاملاح من سطح الترب وانتقالها الى مسافات في عمق التربة ، بالإضافة الى زيادة معدلات التبخر والنتح evapotranspiration مما يؤدي ذلك الى تجمع الاملاح في الترب وبذلك ينشئ مايسمى بالأراضي المتأثرة بالاملاح . وتؤثر الاملاح الذائبة على الترب أما من خلال تركيز محلول التربة وبذلك تسمى الترب في هذه الحالة بالترب

الملحية Saline Soil وأما بزيادة نسبة الصوديوم على سطح معقد التربة عن حد معين وتسمى التربة في هذه الحالة بالترب الصودية Sodic Soils. وتتكون الاملاح الذائبة من كلوريدات وكبريتات ايونات الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم بصفة اساسية وبيكاربونات ونترات وبورات هذه الايونات الموجبة بصفة ثانوية. ولا تتطرق هنا لمصادر تملح التربة وكيفيةها بل سنقتصر على بيان تأثيرات وجود الاملاح على خصوبة التربة وانتاجية المحاصيل.

تمتاز التربة المتأثرة بالاملاح بسيادة مشاكل خاصة تتطلب عمليات ادارة وخدمة خاصة تتفق ونوعية «أصابتها» بالاملاح. ذلك لان الاملاح الذائبة تؤثر على الترب بطرق متعددة منها : -

- (٧) زيادة تركيز الايونات الموجبة والسالبة في محلول التربة.
- (2) تغير في نسب الايونات المتبادلة على سطح معقد الامدصاص بالتربة.
- (3) تؤثر سلباً على نشاط جذور النبات والاحياء الدقيقة.
- (4) تغير في خواص التربة الفيزيائية.

وينقسم تأثير الاملاح على نمو النبات الى نوعين احدهما يسمى بالتأثير الازموزي Osmotic effect أو التأثير الكلي للاملاح اي تأثير الإملح ككل بغض النظر عن نوعيتها، ويسمى التأثير الآخر بالتأثير النوعي Specific effect وهو تأثير نوع معين من الاملاح على النبات سواء عند تركيز مرتفع او تركيز منخفض من هذا الملح وبغض النظر عن التركيز الكلي للاملاح. فمثلاً يعتبر تأثير البورون Boron على النبات تأثيراً نوعياً إذ أنه يؤثر على نمو كثير من النباتات إذا تواجد بتركيز يزيد عن واحد جزء في المليون في محلول التربة بالرغم من انه عنصر ضروري لنمو النبات.

أما اذا زاد الصوديوم المتبادل عن النسبة (15%) فإن ذلك يؤدي الى تفريق حبيبات التربة الذي يؤدي الى حركتها الى أسفل القطاع الارضي وكذلك الى عدم ثبات بناء التربة. كما يعطي التربة لوناً أسود نتيجة لذوبان المادة العضوية في الـ pH المرتفع ولذلك تتميز الاراضي القلوية بلونها الاسود في اكثر الاحيان وتؤدي حركة الحبيبات الناعمة الى اسفل افاق فقد التربة مما يؤدي الى تكوين طبقات طينية صماء. إن الاراضي الصودية صعبة الخدمة جداً نظراً للزوجتها عند الابتلال وتكوينها لكتل كبيرة متاسكة عندما تكون جافة. كما أن نفاذيتها للماء والهواء تكون بطيئة وكذلك الجذور.

تتميز الترب الصودية بوجود املاح كاربونات الصوديوم الحرة التي تنتج بصورة اساسية من ثاني اوكسيد الكربون والماء والصوديوم المتبادل الذي يحدث له

تحلل مائي ، ويؤدي تكوين هذا الملح الى ارتفاع قيمة pH التربة ليصل الى 10 في بعض الاحيان مما يخلق ظروفاً غير مناسبة لتغذية النبات .

(5) محتوى التربة من الكربونات الكلسية

إنَّ اهم الظواهر التي تمتاز بها ترب المناطق الجافة وشبه الجافة هي وجود تجمعات من lime والتي تكون شائعة في معظم الترب المتكونة من مادة الأصل limestone أو Marl . ويختلف محتوى هذه الترب من الكربونات الكلسية من نسبة بسيطة جداً متجمعة في مكان ما في مقد التربة الى حوالي 60-80% او اكثر من وزن التربة .

إن من اهم مشاكل الترب الكلسية ارتفاع pH التربة مما يؤثر ذلك على صلاحية العناصر الغذائية اللازمة للنبات ، بالإضافة الى تأثير الكلس في صوره المختلفة على جذور النبات . وتؤدي الكربونات دوراً كبيراً في التفاعل المباشر مع بعض العناصر الغذائية مساهمة في مدهاصه adsorption أو ترسيبه كما يحصل ذلك في السلوك التفاعلي لعنصر الفوسفات المضافة أو عناصر أخرى كما أنَّ للكربونات دوراً في تدهور صلاحية الاسمدة النايتروجينية المختلفة المضافة من خلال التأثير المباشر وغير المباشر على تطاير الامونيا . ومن أجل مراعاة نمو النبات وتغذيته في ظروف الترب الكلسية يجب مراعاة إحدى النقاط الآتية :

(أ) الحذر من الرطوبة الزائدة ، إذ أنَّ قلة الماء يعرقل التحلل المائي hydrolysis للمادة الكلسية وهذا يقل مساهمة الكربونات في رفع pH الترب .



(ب) يمكن التقليل من تأثير ايونات الهيدروكسيل الناتجة من التحلل المائي للكربونات بزيادة نسبة ثاني اوكسيد الكربون في هواء التربة .

(ج) ينصح البعض بإضافة المواد الحامضية التفاعل للمساعدة في زيادة خصوبة التربة الكلسية . ولكن نتائج معظم الابحاث قد بينت أن هذه المواد تهاجم المادة الكلسية أولاً وبذلك يقل مفعول تأثيرها فلا يحدث تغير ملحوظ في pH التربة او زيادة في ذوبان العناصر الغذائية الامر الذي يتطلب استعمال كميات كبيرة من الاحاض لحفض pH التربة مما يجعل استعمالها غير اقتصادي .

(5) التهوية

يتكون هواء التربة كما في الهواء الجوي من النايروجين والاكسجين وثاني اوكسيد الكربون وبعض الغازات الخاملة . ويشغل هواء التربة المسام الفارغة من قبل ماء التربة وتختلف نسبة مكوناته الرئيسية عنها في الهواء الجوي نتيجة لعمليات التنفس التي تقوم بها الكائنات الحية في التربة التي تستهلك الاوكسجين وتنتج ثاني اوكسيد الكربون ، لذا يرتفع محتوى هواء التربة من ثاني اوكسيد الكربون ليصل الى 0.2% وقد يصل الى 1% بينما يكون محتوى الهواء الجوي 0.03% . والجدول (5) يبين تركيب الهواء الجوي وهواء التربة .

جدول (5) تركيب الهواء الجوي وهواء التربة

الهواء الجوي	%	هواء التربة
الاوكسجين	21	20
النايتروجين	78.03	78.60
ثاني اوكسيد الكربون	0.03	0.2

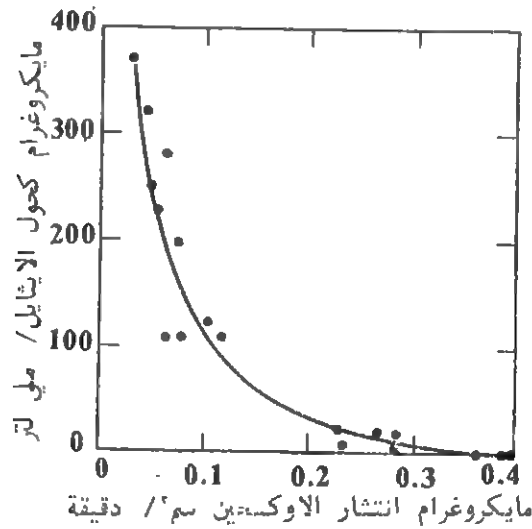
ويتوقف تركيب هواء التربة على معدلات التفاعلات الكيميائية والحيوية وخواص التربة المتصلة بالحيز الهوائي ومعوقات التبادل الغازي . وتنحصر أهمية هواء التربة بالآتي :

(أ) إن نقص الاوكسجين يؤثر على قابلية الجذور في امتصاص العناصر الغذائية (جدول 6) . اذ تتحول الكثير من العناصر الغذائية الى صور غير صالحة للامتصاص خلال عملية الاختزال .

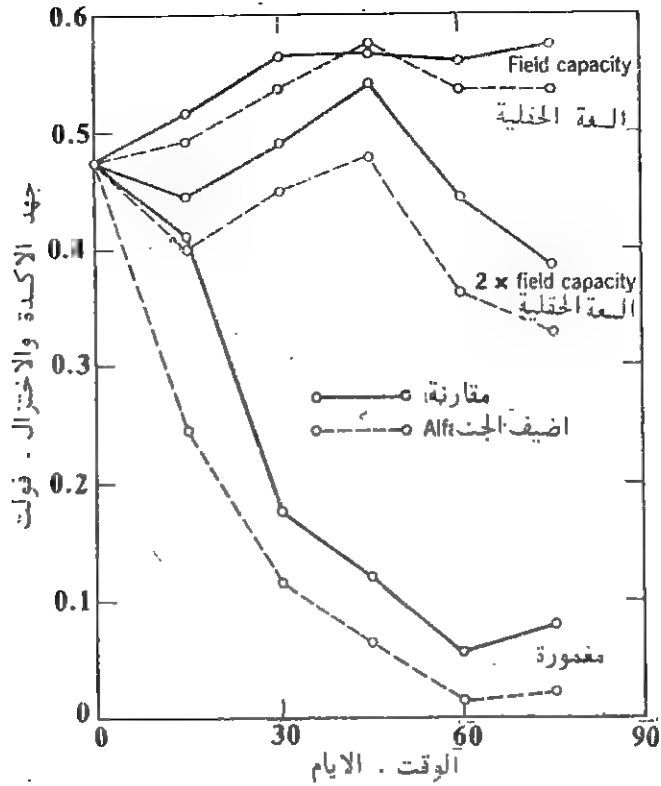
جدول (6) تأثير ضغط الاوكسجين الجزئي في المحلول المغذي على امتصاص الفسفور والبوتاسيوم من قبل محصول الطماط (Hopkins et al. 1950).

الضغط الجزئي للاوكسجين الامتصاص النسبي	Relative uptake	بار
K	P	
100	100	0.21
75	56	0.05
37	30	0.005

- (ب) يؤثر نقص الاوكسجين على النشاط الانزيمي في النبات مما يؤثر على العمليات الحيوية .
- (ج) يؤثر نقص الاوكسجين على تثيل الكربوهيدريت في الجذر إذ تقل عملية الاكسدة وبذلك تتكون كحولات مثل ethyl alcohol بسبب التخمر (الشكل 8) . وهذه العملية تؤثر سلباً على نمو النبات .
- (د) إن نقص الاوكسجين يمنع اكسدة المادة العضوية الموجودة أو المضافة مما يؤدي الى تراكمها وتراكم نواتج التحلل التي غالباً ماتكون سامة للنبات مثل الايثيلين ethylene والميثان methane وغاز كبريتيد الهايدروجين والسيانيد Cyanide ، واحماض عضوية مثل حامض الخليك والاكوزاليك واللاكتيك والستريك كما في (الشكل 9) .
- (هـ) نقص الاوكسجين يعرقل امتصاص الماء لأنعدام الطاقة مما يؤدي ذلك الى ذبول النبات .
- (و) نقص الاوكسجين يؤدي الى عرقلة استطالة الجذر . إذ أن قمم الشعيرات الجذرية اكثر الاجزاء حساسية لنقص الاوكسجين .



الشكل (8) تأثير معدل انتشار الاوكسجين على تكوين كحول الإيثايل في عصارات خلية نبات الطماطا (Fulton & Erickson, 1964)



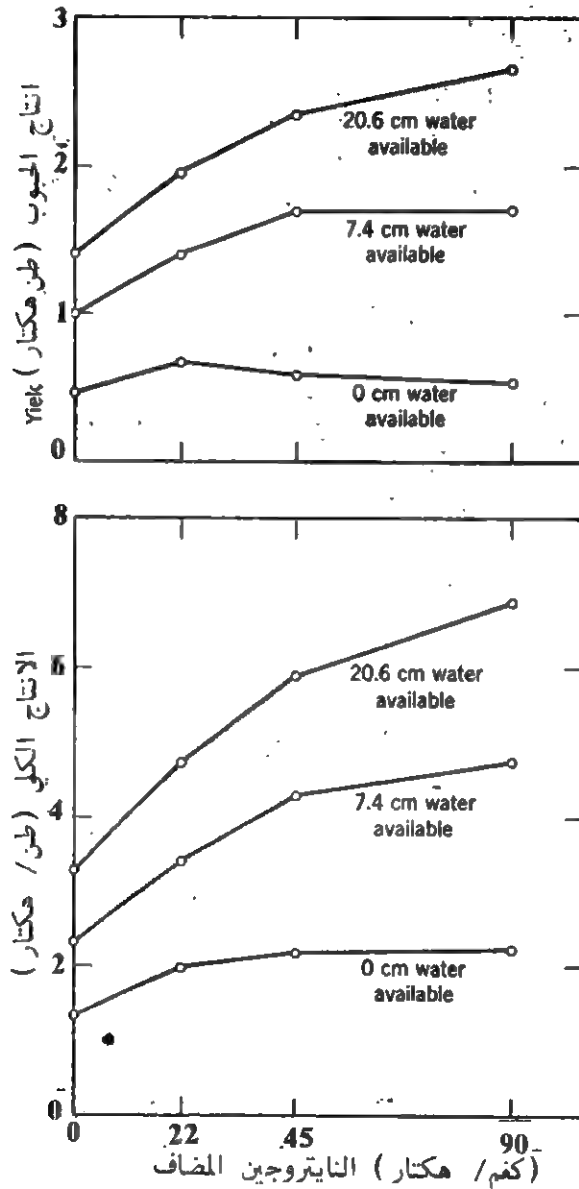
الشكل (9) تأثير جهد الأكسدة والاختزال في تربة مزيجية غربية على تحليل مخلفات
البرسيم المضافة بمعدل 1% عند ثلاثة مستويات لمحتوى التربة الرطوبي (Savant and
Ellis, 1964)

6- محتوى التربة الرطوبي

عندما نحاول ادراج ماء التربة (محتوى التربة الرطوبي) باعتباره عاملاً محدداً
لخصوبة التربة يجب أن نؤكد أهمية هذا العامل بتأثيراته على سلوك
التفاعلات الكيميائية والحيوية وخصائصها بالتربة وكذلك بتأثيراته على نمو المحاصيل
الزراعية وإنتاجيتها. ولا نتطرق هنا إلى نوع ماء التربة وخصائصه وإلى القوى
(الجهود) المؤثرة على جاهزيته بل سنكتفي بتحديد تأثير محتوى التربة من الماء
الجاهز على إنتاجية المحاصيل الزراعية التي يمكن إجمالها بالآتي: -

(أ) يعتبر الماء من العوامل الأساسية في عملية التركيب الضوئي من خلال إنتاج
الكاربوهيدرات وكذلك من خلال فتح الثغور على سطح الورقة النباتية
وغلقها ودوره في انتفاخ الخلية للأجزاء النباتية المختلفة.

(ب) يعتبر ماء التربة الوسط المناسب لاذابة العناصر الغذائية وحركتها الى النبات . ويمكن القول إنَّ انخفاض محتوى التربة من الماء له تأثير جوهري على قابلية التربة في امداد العناصر الغذائية للنبات وعلى كفاءة الاسمدة المضافة (الشكل - 10) .



الشكل (10) العلاقة بين انتاجية الحبوب والمادة الجافة ومستويات مختلفة من التسميد النيتروجيني وكمية الماء الجاهزة بالتربة في مراحل نمو النبات (Ranaig and Knoades, 1963)

(جـ) يؤثر نقص الماء الجاهز على تثيل النايتروجين وتكوين البروتين مما يؤثر بدوره على انتاجية المحصول المزروع . ومن هنا فإن نقص الماء يؤثر على نسبة $\frac{\text{الجزء الخضرى}}{\text{القيمة}}$ Root/ top ratio (جدول - 7) وهذا يعكس بإيضاح أهمية الماء واعتباره عاملاً محدوداً للانتاج .

جدول (7) إنتاج الجزء الخضري والدرنات عند مستويات رطوبة مختلفة (استل من Black, 1967).

الجزء الخضري	غرام / وزن اجزاء النبات	محتوى التربة الرطوبي %
الدرنات	الجزء الخضري	الدرنات
0.15	26	4
0.18	50	9
0.20	80	16
0.22	116	25
0.26	130	34

إذ أن وفرة الماء الممتص يؤدي الى استطالة الخلايا ويزيد من مساهمته في عملية حركة الكاربوهيدرايت للدرنات .

(د) يؤدي الامتصاص المناسب من الماء الى زيادة انتاجية الحبوب والقش . وقد بين (Russell, 1973) هذا التأثير في انتاجية محصول الحنطة (جدول - 8) وبهذا يمكن القول إن الماء عامل محدد لنمو النبات وانتاجيته .

جدول (8) انتاجية الحنطة مع زيادة كمية ماء الري

ماء الري (سم)	12.5	19	38	63	125
إنتاجية الحبوب طن/ هكتار	2.47	2.68	2.86	2.89	2.95
انتاجية القش طن/ هكتار	3.10	3.50	4.10	4.60	6.00
النسبة الحبوب/ القش	0.80	0.76	0.69	0.63	0.49

وبعد هذا العرض لبعض العوامل التي تؤثر على خصوبة التربة ، لابد لنا من الإشارة الى أن مقدار ما يمتصه اي نبات من العناصر الغذائية من التربة يتأثر بعدد من العوامل يمكن تقسيمها الى :

اولاً : - العوامل الخارجية : المتعلقة بالبيئة التي ينمو فيها النبات التي تتضمن
أ - عوامل متعلقة بالعنصر الغذائي - اي الصورة الكيميائية التي يوجد بها
العنصر الغذائي في محلول التربة ومدى صلاحية هذه الصورة للامتصاص وكذلك
تركيز هذا العنصر وتوزيعه في منطقة انتشار المجموع الجذري .
ب - عوامل متعلقة بالبيئة المحيطة وهي تمثل :

- (1) تأثير التداخل بين العنصر الغذائي والعناصر الغذائية الأخرى على امتصاص ذلك العنصر وجاهزيته .
- (2) تأثير خواص التربة الكيميائية والفيزيائية على صلاحية العناصر الغذائية ، كتأثير درجة حموضة التربة (Soil-pH) والرطوبة والحرارة والتهوية والاحياء الدقيقة الموجودة في التربة والتعرية والتآكل وطبوغرافية الارض ومحتوى التربة من الاملاح وكاربونات الكالسيوم والاكاسيد والهيدروكسييدات الحرة وغيرها .

ثانياً : - العوامل الداخلية : وتتضمن جميع الخصائص المتعلقة بفسلجة النبات وصفاته المورفولوجية . وقد حدد (بلبح , 1968) هذه العوامل بالآتي :

- (1) الصفات الوراثية للنبات
 - (2) نوع الجذر ومدى انتشار المجموع الجذري
 - (3) عدد ومواقع التبادل الايوني ومدى انتشارها على الجذور
 - (4) درجة نفاذية أنسجة الجذر
 - (5) التنفس والتركيب الضوئي
 - (6) النتج
 - (7) التركيب الايوني للنبات
 - (8) عمر النبات ومعدل نموه
 - (9) قدرة النبات على المعيشة التكافلية مع الكائنات الحية الدقيقة .
- إن الطرق المتبعة والشائعة للاستدلال على خصوبة التربة هي (سنحاول تناولها بشكل مفصل في مفردات المنهاج العملي لمادة الأسمدة وخصوبة التربة) : -
- (1) علائم نقص العناصر الغذائية على النبات .

- (2) زرع بعض النباتات في التربة المراد معرفة خصوبتها وفحص أنسجة النبات بعد ذلك .
- (3) استخدام النشاط الحيوي لحياء التربة (الفحوص البايولوجية) .
- (4) التحاليل الكيماوية للتربة لتقدير نوعية العناصر الجاهزة وكميتها .
- يصل العنصر الغذائي الجاهز في التربة الى سطح جذر النبات بوسائل محددة وصفها (Barber et al 1963) بالآتي : -

1- الاعتراض الجذري والتاس التبادلي

Interception and contact exchange

من خلال نمو المجموع الجذري واندفاعه في التربة تحصل حالة التماس أو ما يقصد به الاعتراض الجذري . وقد تحصل حالة احلال بين ايونات الهيدروجين الموجودة على سطح الجذر والناجمة من عمليات حيوية خاصة في النبات وبين المغذيات الممدصة على سطح معقد التربة . ويعني هذا إن الايونات تنتقل الى جذور النبات مباشرة دون تحويلها الى محلول التربة وبهذا فإن فعالية هذه الآلية تكون اكثر في الترب الطينية منها في الرملية وذلك في مد النبات بحاجته من المغذيات . وقد اشار Barber et al 1963 الى أن هذه الآلية من الامتصاص لا تشكل الا نسبة محدودة جداً بالمقارنة مع الكمية الكلية المطلوبة لسد احتياجات النبات .

2- الأنسياب الكتلي Mass flow

بهذه الآلية تنتقل العناصر الغذائية الى سطح الجذر بواسطة الماء . إذ يتحرك العنصر الغذائي مع سبل الماء المتحرك نتيجة الجذب المستمر له الناتج عن امتصاصه بواسطة جذور النبات . ويمكن اعتبار الكمية التي تصل الى الجذر من اي عنصر تعتمد على كمية الماء ومعدل التركيز الذي يحتويه . وإن معدل تركيز المغذي حول الجذر قد يزداد أو يبقى كما هو معتمداً على الميزان بين معدل تجهيز العنصر الى الجذر بواسطة الأنسياب الكتلي أو معدل الامتصاص من قبل الجذر . ويتأثر إنتقال الماء وبالتالي العناصر المحملة معه بنفاذية التربة للماء وكذلك بالعوامل المحددة لحركة الماء بالتربة مثل النسجة ودرجة الحرارة . وتتفاوت العناصر الغذائية باستجابتها للحركة بهذه الآلية ، فمثلاً يحصل النبات على أغلب حاجته من الكالسيوم (Barber, 1974) والنترات (Renger & Strebel, 1976) ولكن البوتاسيوم والفسفور لا يستجيبان (عند التركيزات الواطئة) لهذه الآلية (Mengel, 1985) . وهذا يعني إن آلية الانسياب الكتلي تكون سائدة

للايونات الموجودة بتركيز عالٍ في محلول التربة وايضا عندما يكون النتح عالياً . فقد أشار (Liao & Bartholomew, 1977) بوجود تلازم قوي بين ما يفقده محصول الذرة الصفراء من ماء بسبب النتح وما يعتصه من أيون النترات .

3- الانتشار Diffusion

يحصل إنتشار العناصر الغذائية عندما ينتقل العنصر من التركيز العالي الى التركيز الواطيء وبشكل حركة عشوائية . وتحصل هذه الآلية عندما يكون التركيز حول سطح الجذر أما واطئاً وأما مرتفعاً . عما في المحلول المحيط . ويعبر عن محصلة الانتشار net diffusion بالفرق بين عدد الجزيئات التي تتحرك في أي الاتجاهين المتضادين في وحدة معينة . وعندما يكون الانتشار صفراً فإن ذلك يعني توقف الأنشمار بل يعني إن حركة الجزيئات متساوية في جميع الاتجاهات .

ويعبر قانون Fick الاول Fick's first law عن العلاقة بين مقدار الجزيئات التي تنتشر والعوامل التي تؤثر عليه

$$F = -D (dc/dx)$$

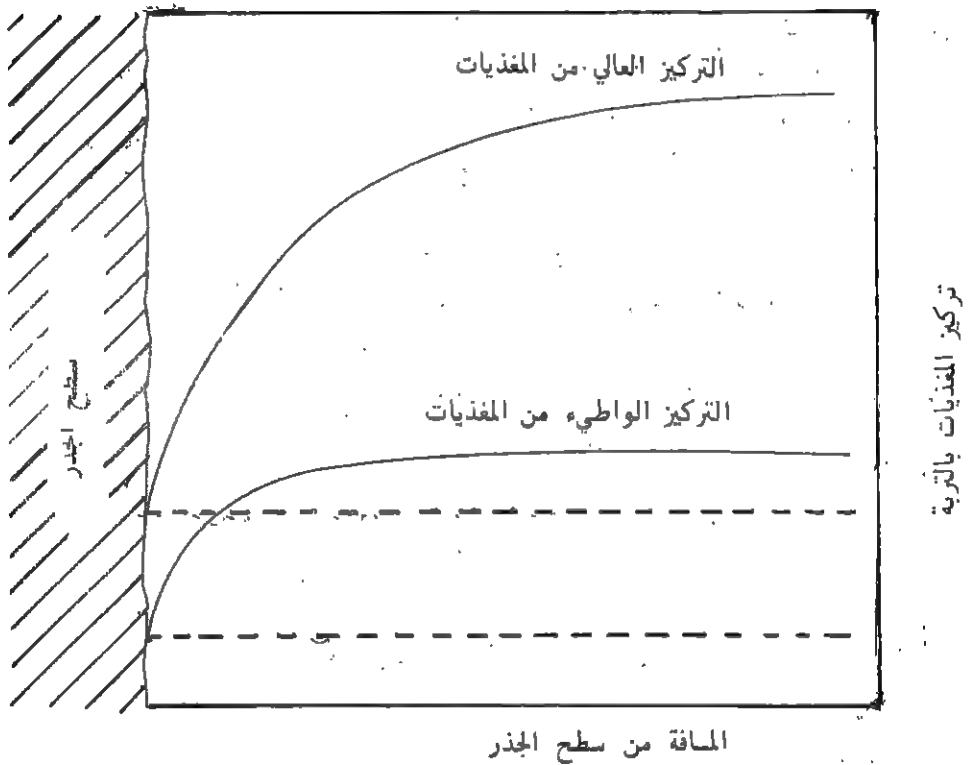
إذ أن F يمثل معدل الانتشار diffusion rate وهي عبارة عن الكمية المنتشرة من الجزيئات خلال مقطع محدد لوحدة الزمن . أما dc/dx فهي عبارة عن فرق التركيز أو ميل التركيز concentration gradient ، D عبارة عن معامل الانتشار diffusion coefficient الذي وصفه (Nye, 1979) بالمعادلة الآتية ليعبر عن معامل الانتشار في وسط التربة :

$$D = D_e \Theta f_e (dce/dc) + D_r$$

أي أن D عبارة عن معامل الانتشار في وسط التربة و D_e معامل الانتشار في الماء الحر بالتربة و Θ تمثل حجم التربة الممتلئ بالماء و f_e معامل العرقلة impedance factor و C_e تمثل تركيز الايون في محلول التربة . و C التركيز الكلي للايون في التربة أما D_e فيمثل الانتشار السطحي surface diffusion .

إن محتوى التربة من العنصر الغذائي يؤدي دوراً كبيراً في تحديد حركة العنصر بالآلية الأنتشار . فالشكل (11) يبين أن اختلاف تربيئين بمحتوى العنصر الغذائي يؤثر على ميل التركيز concentration gradient أي أن المحتوى العالي يؤدي الى خلق ميل اكبر ، مما يعجل حركة العنصر الغذائي اذا أستبعدت جميع معوقات

الحركة ، ويمكن النظر الى الأختلاف الكبير في التركيز في المواقع البعيدة عن الجذور وتأثير محتوى التربة من العنصر على فرق التركيز . إن الانتشار يقل غالباً عنداً يقل النتج كما أن الايونات مثل البوتاسيوم والامونيوم والفسفور تنقل غالباً (التركيز الواطيء من هذه العناصر) بواسطة الانتشار ويؤدي الانسياب الكتلي دوراً هاماً عند التركيزات العالية من هذه العناصر .



الشكل (11) تأثير محتوى التربة من العناصر الغذائية والمسافة من سطح الجذر على ميل تركيز هذه العناصر (Lewis & Quirk, 1967) .

العلاقة بين الانتاجية وخصوبة التربة

تعرف إنتاجية الترب الزراعية بقدرة التربة على انتاج محصول معين في ظروف محددة مثل موعد الزراعة والتسميد ومواعيد الري والحراثة ومقاومة الآفات والظروف الجوية . أي إن انتاجية التربة الزراعية هي محصلة عوامل عديدة تؤثر

على المحصول سواء ما هو متعلق منها بالتربة أم بالظروف المحيطة . ولهذا فإن الانتاجية تعكس نظرة إقتصادية وليست خاصة مقتصرة على التربة وغالباً ماتدخل المصاريف والدخل لحساب الربح الذي يعبر عن الانتاجية . ولهذا وصف (Jenny, 1930) الإنتاج بأنه دالة لمتغيرات يمكن التعبير عنها بالمعادلة الآتية :

الانتاج = دالة (التربة - الماء - الإنسان - النبات - مقاومة الآفات - الزمن - وغيرها من العوامل)

إن دفع هذه المتغيرات الى الوضع النموذج الملائم يعني المساهمة في الحصول على أقصى انتاجية . وإذا حاولنا إفتراض ثبوت جميع العوامل ماعدا خصوبة التربة أي ماتحتوي التربة من عناصر غذائية جاهزة (نقص عنصر البوتاسيوم مثلاً) فسيكون البوتاسيوم دالة على خصوبة التربة . إن المعادلة الآتية تعبر عن الانتاجية

المحصول = دالة (محتوى التربة من البوتاسيوم)
جميع العوامل الأخرى ثابتة

وقد حاول كثير من الباحثين تحديد نوع الدالة الرياضية التي تأخذها هذه العلاقة العامة حتى يمكنهم أن يضعوا العلاقة بين المحصول والعامل المتغير أو العوامل المتغيرة بأحدى الحالتين .

1- وصف العلاقة من خلال معادلات رياضية .

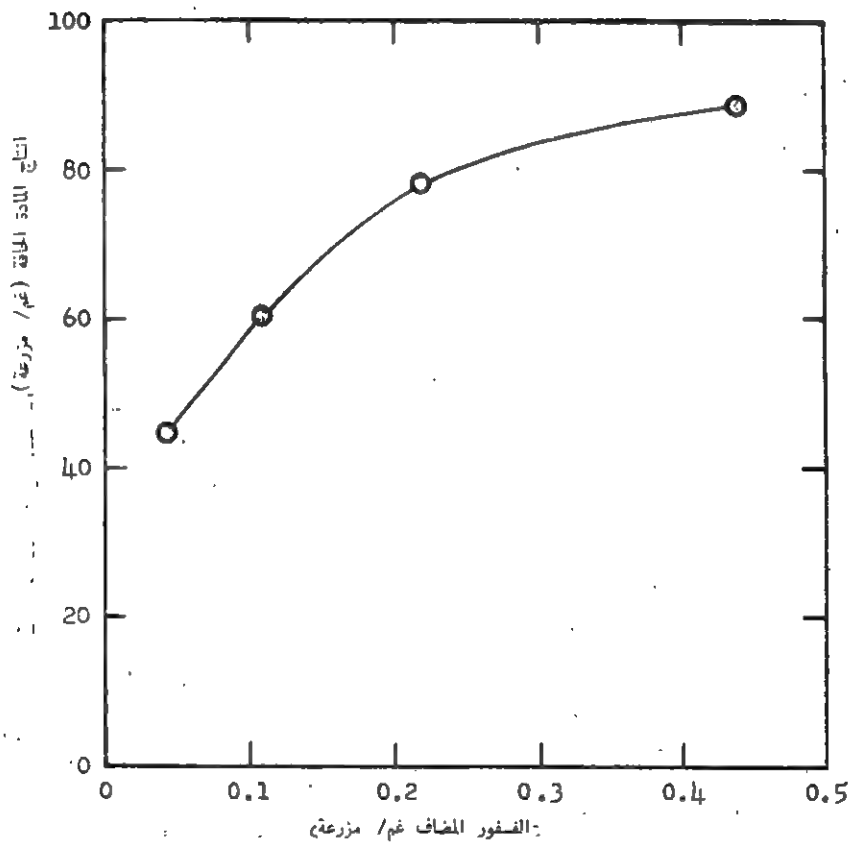
2- وصف العلاقة من خلال معادلات إحصائية .

ويعتقد البعض بأنه لا يمكن وصف العلاقة في كلا الحالتين ، وبشكل عام تعتبر الحالة الاولى اكثر استعمالاً .

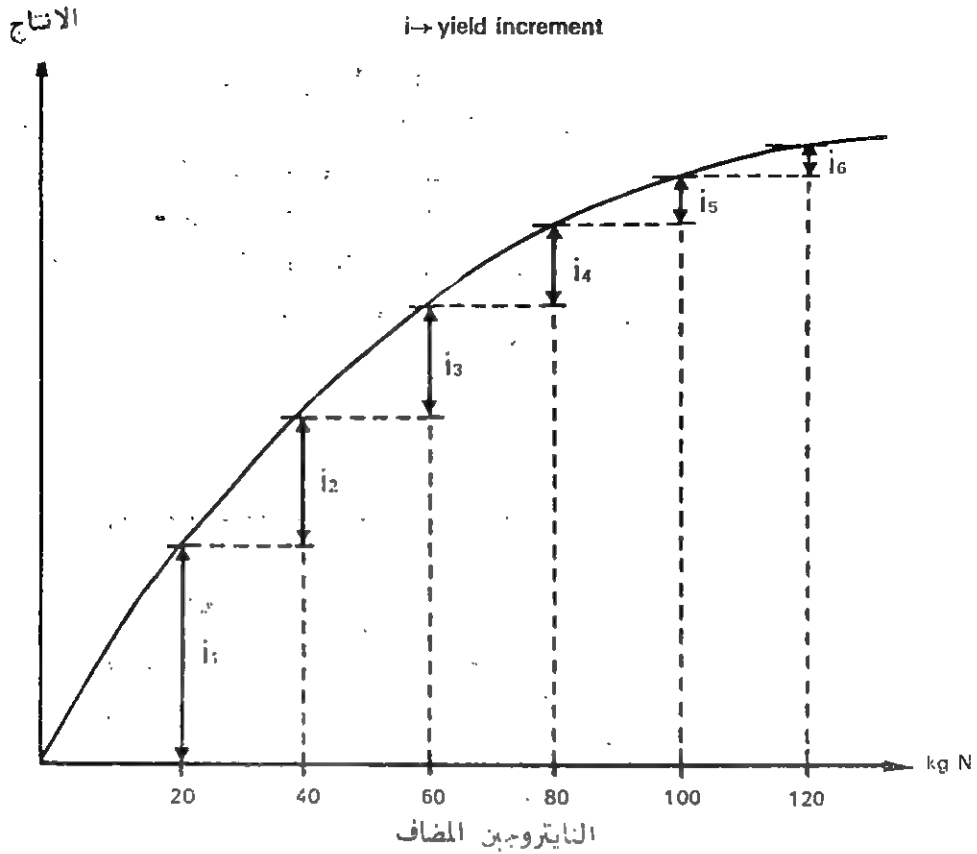
إن اول من درس هذه العلاقة (Liebig, 1855) و (Sprengel, 1839) وقد توصلوا الى قانون يصف العلاقة اطلق عليه قانون الحد الأدنى Law of the minimum إن نقص أو غياب أي عامل من عوامل النمو (العامل المحدد للنمو) أي وجوده بكمية أقل عما يحتاجه النبات سيكون له تأثير على نمو الحاصل وإن اضافة هذا العامل الى التربة يؤدي الى زيادة الانتاج زيادة نسبية ثابتة ، ولكن اضافة أي عنصر آخر ليس له تأثير على طبيعة العامل المحدد وكذلك الانتاج . أي ان العلاقة بين كمية العامل المحدد المضاف والانتاج عبارة عن خط مستقيم .

وقد حاول (Mitscherlich, 1909) أن يثبت صحة رأي Liebig بأجراءه تجربة اعتبر عنصر الفسفور هو العامل المحدد . حيث وفر جميع عوامل النمو

الآخري لنبات الشوفان Oats واذاف الفسفور على هيئة سوبرفوسفات وبأربعة مستويات (الشكل - 12)، ولكنه لم يحصل على خط مستقيم كما كان متوقعاً وفقاً لقانون Liebig، بل حصل على منحنى يعبر عن أن الزيادة في الحاصل ليست ثابتة بل تتناقص بزيادة إضافة عوامل النمو وإن قانون الغلة المتناقصة Law of the diminishing returns يوضح أن معدل زيادة الانتاج نتيجة إضافة عنصر محدد يتناقص مع زيادة الكمية المضافة من العنصر (الشكل - 13).



شكل (12) تأثير اربع مستويات من الفسفور المضافة على هيئة سماد السوبر فوسفات على المادة الجافة الناتجة من زراعة محصول الشوفان في مزرعة رملية Sand culture.



الشكل (13) منحنى الاستجابة كما يصفه قانون الغلة المتناقصة (استل من Mengel & Kirkby, 1982)

ويفهم من طبيعة القانون وتطبيقاته إن إضافة جرعة محددة (مثلاً 20 كغم نايتروجين حسب ما يصفه الشكل - 13) ستؤدي إلى زيادة الانتاج بمقدار (i_1) ولكن قدرة الجرعة الثانية (40 كغم نايتروجين) ستؤدي إلى زيادة بمقدار (i_2) هذه الأخيرة أقل من الزيادة الأولى (i_1). وللمقارنة فإن ماستفعله الجرعة السادسة (120 كغم نايتروجين) من تأثير على زيادة الانتاج (i_6) هو أقل من تأثير الجرعة الخامسة أو الرابعة وهكذا يقل تأثير الجرعة السابعة بتوالي الاضافة . والتعبير الرياضي عن وصف Mitscherlich هو :

$$\frac{dy}{dx} = K (A - Y) \quad \dots (1)$$

إذ y = الانتاج بعد إضافة العامل المحدد (x)
 A = أقصى حد انتاجي maximum yield عند توفر جميع عوامل الانتاج
 K = ثابت

وبتكامل المعادلة السابقة

$$\ln (A-y) = C-Kx \quad \dots (2)$$

ولو افترضنا أن القيمة المضافة من عامل النمو = صفراً ، اي أن $x = 0$ صفراً فإن
الحاصل الناتج سيكون مساوياً الى صفر ايضاً ($y = 0$ صفر) .

$$\ln (A-0) = C-0 \quad \dots (3)$$

$$\ln A = C$$

وبعد التعويض عن قيمة $\ln A$ في معادلة (2) فتصبح المعادلة كالآتي

$$\ln (A-y) = \ln A - Kx \quad \dots (4)$$

وبعد أخذ اللوغارتم الطبيعي للمعادلة (4) والتعويض عن قيمة K من خلال
المعادلة التالية

$$C = K \times 0.434$$

فنحصل على الآتي :

$$\log (A-y) = \log A - Cx \quad \dots (5)$$

$$\log \left(\frac{A-y}{A} \right) = -cx$$

إذن

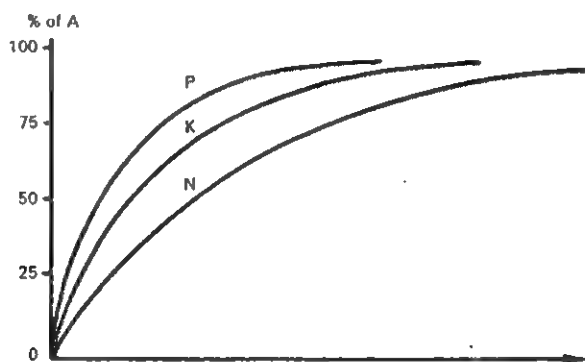
$$\frac{A-y}{A} = 10^{-cx}$$

$$A-y = A \cdot 10^{-cx}$$

وبهذا سنحصل على .

$$y = A (1-10^{-cx})$$

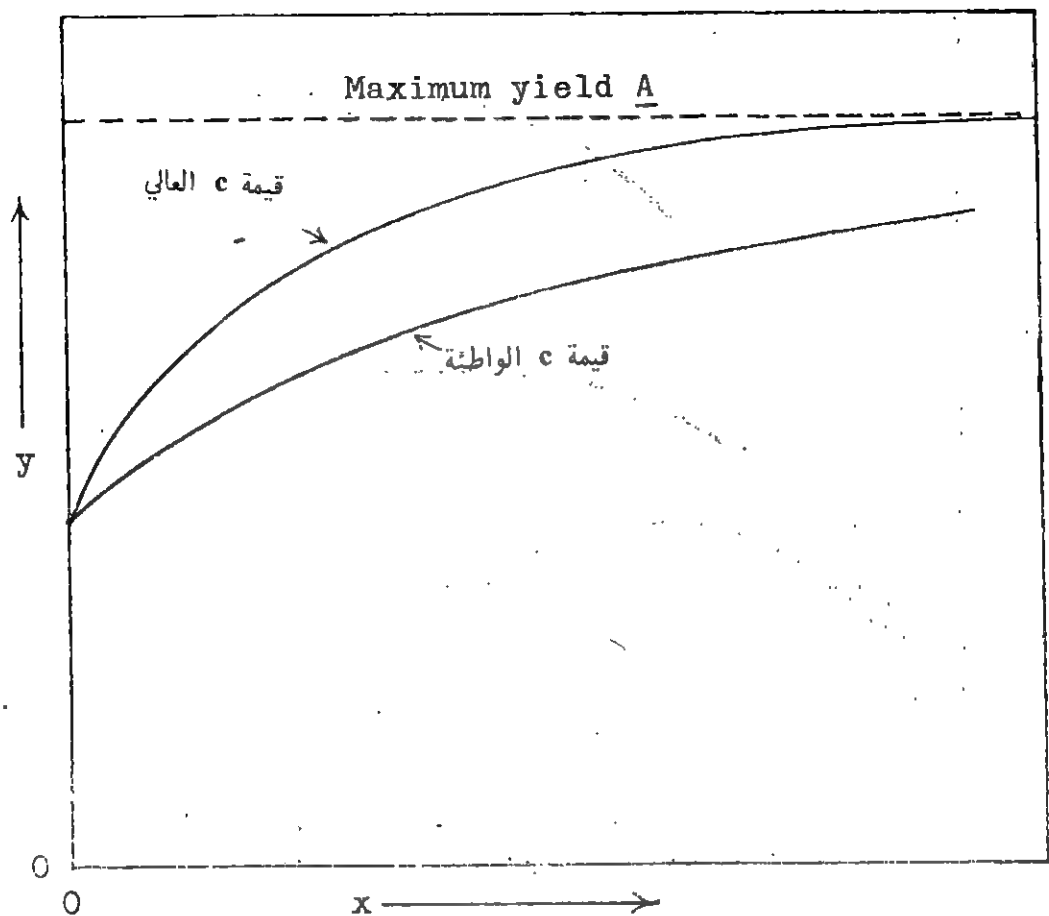
والمعادلة الأخيرة تمثل الصورة المبسطة لمعادلة Mitscherlich . وقد اثارت هذه المعادلة وبقية آراء Mitscherlich العديد من الاعتراضات والمناقشة ومنها ما حصل عليه (Von Boguslawski, 1958) من نتائج تشير الى الاختلاف في طبيعة المنحنيات لعوامل النمو المختلفة (النايتروجين والفسفور والبوتاسيوم) كما يوضح ذلك الشكل (14) ، وهذا يعني ان لقيمة «C» تأثير على نوع المنحنى



الشكل (14) منحنيات إستجابة الإنتاج للنايتروجين والبوتاسيوم والفسفور (V. Boguslawski, 1958)

الناتج عند إضافة اي متغير . وقد اوضح (Mitscherlich, 1954) أن لقيمة (C) تأثير على طبيعة المنحنى وأن القيمة العالية تعني الاحتياج الكبير من عامل النمو للوصول الى اقصى انتاجية (الشكل - 15) والعكس صحيح .

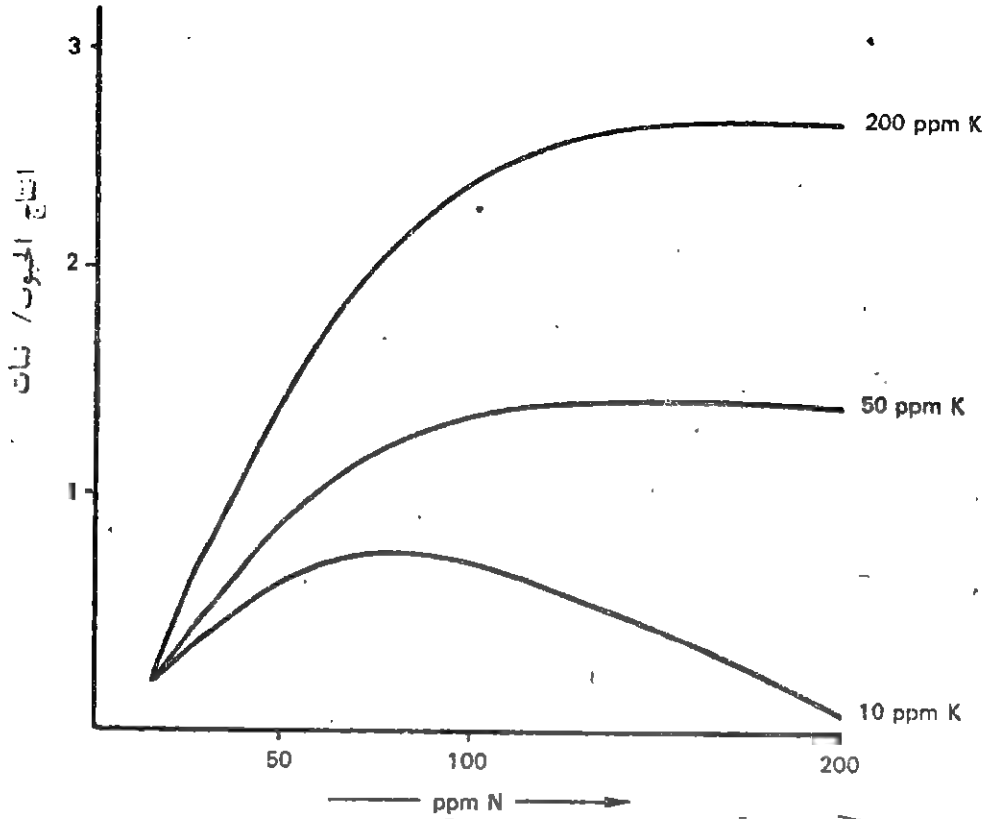
وعند محاولة استعراض رأي Mitscherlich حول تأثير إضافة أحد عوامل النمو الذي يوجد بمستوى غير محدد فإننا نرى وجود اختلاف عما فسر قانون Liebig بأن هذه الإضافة تزيد المحصول ايضاً وقد يرجع سبب ذلك لكون العنصر غير المحدد يساعد النبات على الحصول على مزيد من العنصر المحدد . ويعني هذا إن قيمة «y» تزداد بزيادة قيمة «A» التي تتوقف على جميع عوامل النمو بالإضافة للعامل «x» . وإن افضل مثال يوضح هذه العلاقة ما اشار اليه (Macleod, 1969) من نتائج بنيت أن استجابة محصول الشعير للنايتروجين يتأثر بمستوى البوتاسيوم المضافة ، وإن المستوى العالي من البوتاسيوم يؤدي الى زيادة تأثير الجرعة النايتروجينية المضافة (الشكل - 16) .



الشكل (15) العلاقة بين قيمة «C» واقصى حد انتاجي

ولابد من الايضاح بأن الكمية المضافة من اي عنصر ستكون كافية لانتاج نسبة محددة من المحصول الذي يمكن إنتاجه . وأن ماسيضيفه عاملان او اكثر على المحصول تحدده الجرعة المضافة من اي عامل ومدى توفره قبل الاضافة . ومن خلال ذلك يمكن وصف الحاصل بالمعادلة الآتية :

$$Y = A_{\max.} (1 - e^{-C_1 X_1}) (1 - e^{-C_2 X_2}) \dots (1 - e^{-C_n X_n})$$



الشكل (16) تأثير زيادة مستويات النيتروجين عند ثلاثة مستويات مختلفة من البوتاسيوم على انتاج حاصل الحبوب لحصول الشعير (Macload, 1969)

إذ أن x_1, x_2, \dots, x_n تمثل الكمية الجاهزة من العنصر الغذائي أو مستلزمات النمو الأخرى. إما C_1, C_2, \dots, C_n ثوابت العوامل المحددة. ومن أجل إيضاح المعادلة السابقة سنفترض وفرة جميع عوامل النمو ماعدا محتوى التربة من الفسفور حيث إنه متوفر بكمية تسد 0.9 من الانتاج الكلي. وبهذا فإن الحاصل يمكن تمثيله بالآتي:

$$y = 0.9 A_{\max.}$$

ولو حاولنا أيضاً الافتراض بأن جميع عوامل النمو متوفرة ماعدا محتوى التربة من البوتاسيوم وإن وفرته تدفع الانتاج بحوالي 0.5 من الانتاج الكلي فإن الحاصل يمكن تمثيله بالآتي

$$y = 0.5 A_{\max.}$$

ان غياب كلي من اليوتاسيوم والفسفور معاً بإعتبارهما عوامل محددة للنمو تجعل قيمة الحاصل الكلي ممثلة بالآتي

$$y = (0.9) (0.5) (A_{max.}) \\ = 0.45 A_{max.}$$

إن غياب عاملين معا يؤثر على الانتاج وهذا المبدأ يختلف عن رأي Leibig الذي يرى فقط هنا أنَّ البوتاسيوم هو العامل المحدد لانه أكثر تأثيراً على المحصول من الفسفور ، لذا لم يعتبره عاملاً محدداً .

أما (Bael, 1918) فقد اشار الى: أن اضافة جرعة من عامل النمو ينتج نصف اقصى حد انتاجي maximum yield . ولو افترضنا قيمة «C» تساوي 0.301 وأن قيمة اقصى إنتاج ستمثل 100% وبذلك تمثل المعادلة (5) بالآتي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (x)$$

وإن قيمة (y) بعد اضافة مقدار واحد من عامل النمو ستساوي

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (1)$$

$$\log (100-y) = 2-0.301$$

$$\log (100-y) = 1.699$$

$$100-y = 50$$

$$y = 50$$

وبعد اضافة مقدار مساوي لوحدتين (ضعف المقدار السابق) فإن قيمة «y» ستساوي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (2)$$

$$\log (100-y) = 2-0.602$$

$$\log (100-y) = 1.398$$

$$100-y = 25$$

$$y = 75$$

وهذا يعني إن اضافة مقدار من عامل النمو ينتج نصف اقصى انتاج وإن إضافة مقدار تال مساوي للمقدار الاول تعطي نصف الفرق لاقصى انتاج والحصول السابقة اي

$$\frac{100-50}{2} = 25\%$$

قيمة «C» تساوي 0.301 وأن قيمة اقصى إنتاج ستمثل 100% وبذلك تمثل المعادلة (5) بالآتي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 \cdot (x)$$

وإن قيمة (y) بعد اضافة مقدار واحد من عامل النمو ستساوي

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (1)$$

$$\log (100-y) = 2-0.301$$

$$\log (100-y) = 1.699$$

$$100-y = 50$$

$$y = 50$$

وبعد إضافة مقدار مساوي لوحدتين (ضعف المقدار السابق) فإن قيمة «y» ستساوي :

$$\log (100-y) = \log 100-0.301 (2)$$

$$\log (100-y) = 2-0.602$$

$$\log (100-y) = 1.398$$

$$100-y = 25$$

$$y = 75$$

وهذا يعني إن اضافة مقدار من عامل النمو ينتج نصف اقصى انتاج وإن إضافة مقدار تال مساوي للمقدار الاول تعطي نصف الفرق لاقصى انتاج والحصول السابق اي

$$\frac{100-50}{2} = 25 \%$$

وتعطي الإضافة الثالثة نصف الفرق بين المحصول الكلي بعد الإضافة الثانية وأقصى إنتاج أي أن الزيادة ستساوي

$$\frac{100-75}{2} = 12.5$$

ويكون بذلك للمجموع الحاصل الناتج من الوحدات الثلاث يساوي 87.5% من أقصى إنتاج . ويمكن وصف تأثير إضافة وحدات عامل النمو على الحاصل ومعدل زيادة الحاصل وصولاً لأقصى إنتاج في الجدول الآتي :

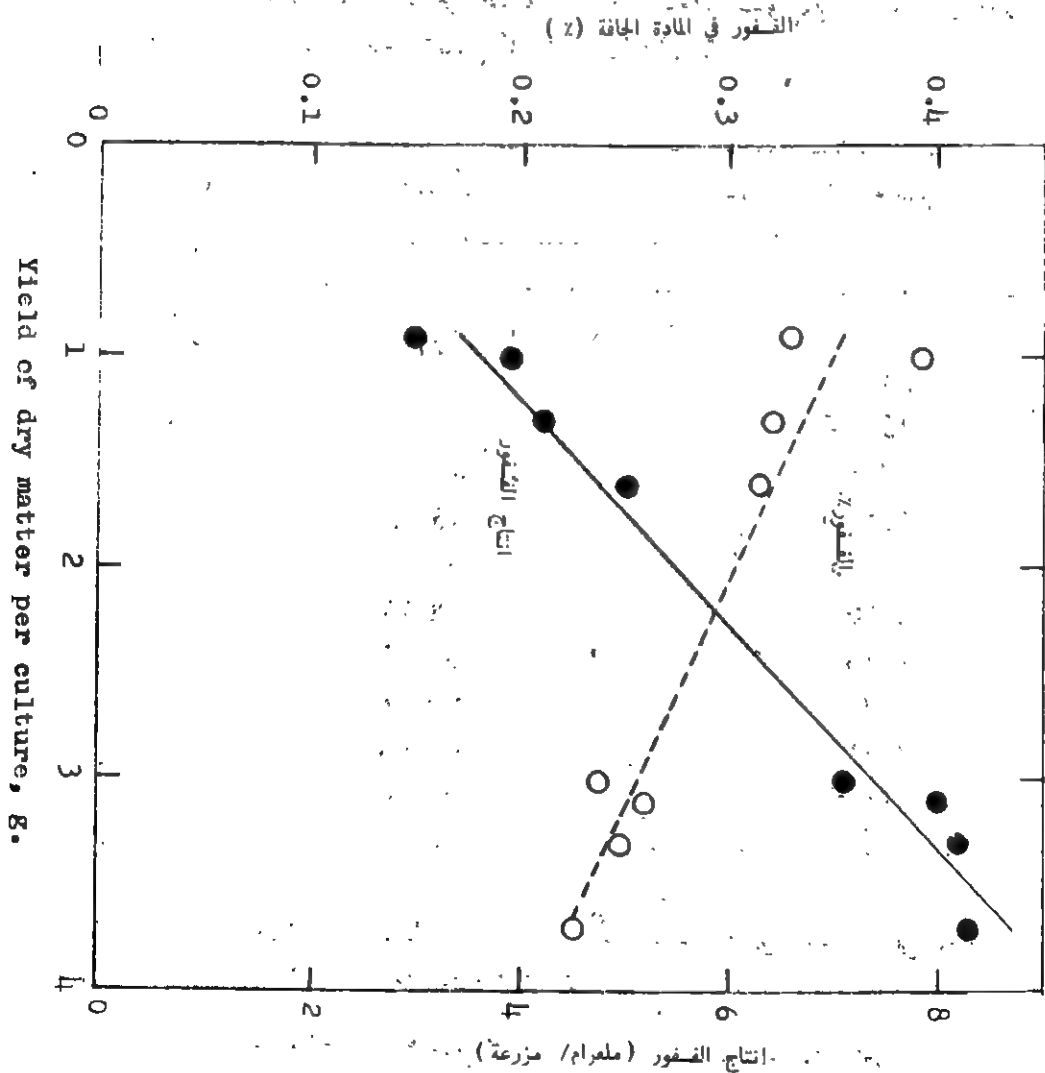
وحدات عامل النمو	المحصول	معدل زيادة الحاصل
	%	%
0	0	
1	50	50
2	75	25
3	87.5	12.5
4	93.75	6.25
5	96.88	3.125
6	98.44	1.562
7	99.22	0.781
8	99.61	0.390
9	99.80	0.195
10	99.90	0.098

وتعرف الوحدة المضافة من عامل النمو التي تعطي نصف أقصى حد إنتاجي بوحدة Baule أو دليل الاستفادة efficiency index .

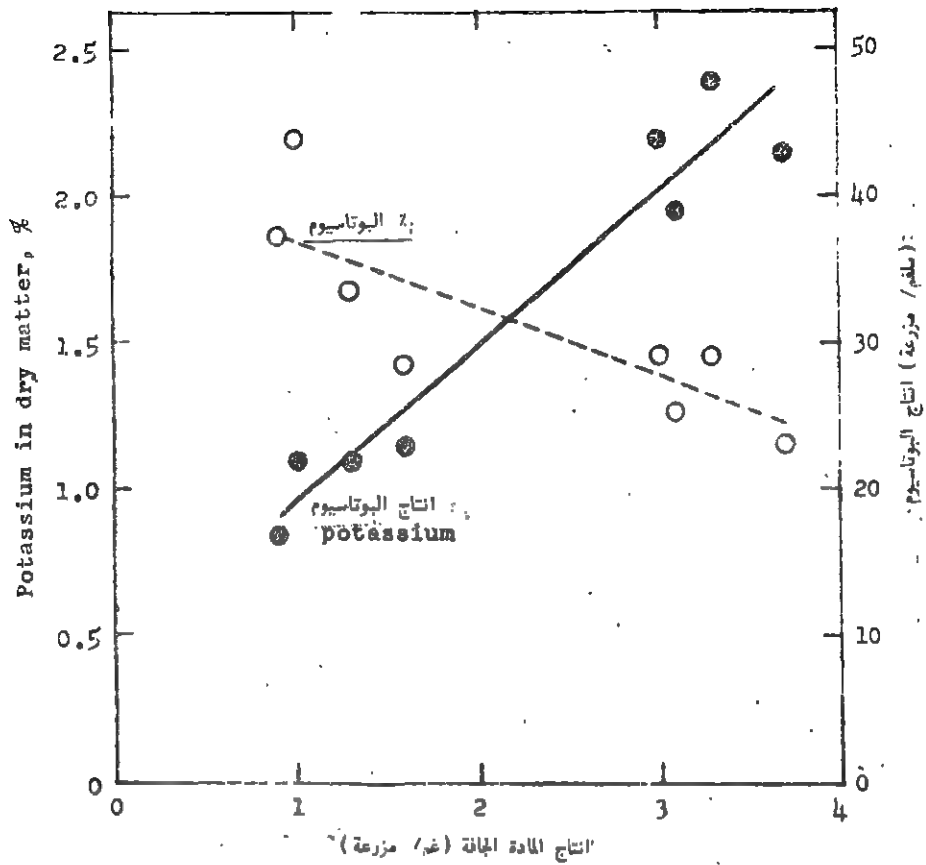
وقد حاول (Wilcox, 1948) أن يطور العلاقة الرياضية لمعادلة Mitscherlich وأشار إلى أن العلاقة بين الانتاج ومحتوى النبات من العنصر علاقة عكسية أي أن :

$$Y = \frac{K}{N}$$

على أن Y تمثل الانتاج و N تمثل محتوى محصول النايتروجين و K ثابت .
 ويعني هذا أن زيادة المحتوى المنخفض من العنصر في النبات يؤدي الى زيادة
 الانتاج . وقد عزز رأي هذا بالكثير من التجارب (مثل نتائج تجربة Robinson, 1949)
 كما موضحة بالأشكال (17, 18).



الشكل (17) العلاقة بين محتوى نبات البرسيم من الفسفور وانتاج الفسفور - إذ تمثل
 النقاط ثمان نباتات من البرسيم النامي وبشكل منفصل في تربة واحدة
 (Robnison, 1942)



الشكل (18) العلاقة بين محتوى نبات البرسيم من الفسفور ونتاج الفسفور - إذ يثل نتائج ثمان تجارب للبرسيم النامي وبشكل منفصل في نفس التربة (Robinson, 1942).

لابد من الإشارة الى أن هنالك العديد من التجارب التي اثبتت فشل معادلات Mitscherlich-Baule-Wilcox لوصف نمو النبات (الانتاج) وعلاقته بخصوبة التربة. كما أن هنالك العديد من الآراء والابحاث العلمية التي تصف طبيعة هذه العلاقة بنجاح إذ تعددت المعادلات الرياضية والاحصائية المستخدمة. معادلات الانحدار والتجارب العاملية Regression equations & Factorial experiments وفكرة Bray's Nutrients لحركة المغذيات بالتربة Mobility Concept قيد استخدمت معادلات Mitscherlich-Baule-Wilcox كأساس في وصف العلاقة بين خصوبة التربة والانتاج.

قائمة المصادر

- 1- Adams, F. and Lund, Z.F. (1966) Soil Sci. 101: 193-198.
- 2- Arnon, D.I. and Stout, P.R. (1939) Plant Physiol. 14: 371-375.
- 3- Arnon, D.I.; Fratzke, W.E. and Johnson, C.M. (1942) Plant Physiol. 17: 515-524.
- 4- Awad, K.M. (1982) Ph. D. Thesis, University of Aberdeen. Uk.
- 5- Barber, S.A. (1974) The plant root and its environment, pp. 525. 564. University Press of Virginia, Charlottesville.
- 6- Barber, S.A.; J.M. Walker, and Vasey, E.H. (1963) Agr. Food Chem. 11: 204-207.
- 7- Baule, B. (1918) Londw. Jahrb. 51: 363-385.
- 8- Black, C.A. (1968) "Soil-Plant Relationship" 2nd ed. Wiley, New York.
- 9- Boguslawski, E. Von (1958) Physiology, Vol. 4, p. 943-976.
- 10- Broyer, T.C., Carlton, A.B., Johnson, C.M. and Stout, P.R. (1954) Plant Physiol. 29: 526-532.
- 11- Cooke, G.W. (1975) "Fertilizing for maximum yield" Crosby, Lockwood & Son Ltd., London.
- 12- FAO. Annual Fertilizer Review 197. Rome 1979.
- 13- FAO: Fertilizer Yearbook 1981, Vol. 31. Rome 1982.
- 14- Fulton, J.M. and Erickson, A.E. (1964) Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28: 610-614.
- 15- Hopkins, H.T., Specht, A.W. and Hendricks, S.B. (1950). Plant Physiol. 25: 193-208.
- 16- Jackson, R.H. (1964) New Zealand Jour. Agr. Res. 7: 445-471.
- 17- Jenny, H. (1930) Missouri Agr. Exp. Sta. Res. Bul. 1952.
- 18- Lewis, D.G. and Quirk, J.P. (1967) Plant and Soil 26: 445-453.

- 19- Liaò, C.F.H. and Bartholomew, W.V. (1977) In: Proc. Int. sem. Soil env. and fertility management in intensive agricult. pp. 625-633.
- 20- Liebig, J. (1955) Friedrich Vieweg und Sohn. Braunschweig, pp. 23-25.
- 21- Lucas, R.E. and Davis, J.F. (1961) Soil Sci. 92: 177-182.
- 22- Macleod, L.B. (1969) Agron. J. 61: 26-29.
- 23- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principles of Plant nutrition. 3rd ed. Inter. Potash Inst. Bern.
- 24- Mitscherlich, E.A. (1909) Landw. Jahrb. 38: 537-552.
- 25- Mitscherlich, E.A. (1954) Soil Science for farmers 7th ed. Berlin, Hamburg.
- 26- Nye, P.H. (1979) The Soil-Root Interface. Academic Press. p. 39-49.
- 27- Pagel, H. (1983) The 6th International Scientific Conference. Karl Marx University Leipzig, GDR.
- 28- Ramig, R.E. and Rhoades, H.F. (1963) Agron. J. 55: 123-127.
- 29- Renger, M. and Strebel, O. (1976) Landw. Forsch. SH 33: 13-19.
- 30- Russell, E.W. (1973) "Soil Conditions and Plant Growth" 10th ed. Longman.
- 31- Savant, N.K. and Ellis, R. Jr. (1964). Soil Sci. 98: 388-394.
- 32- Sprengel
- 33- Trolldenier, G. (1971) Soil Biology, p. 116, Stuttgart.
- 34- Viets, F.G. (1971) Bio. Science 21: 460-467.
- 35- Vlamis, J. (1953) Soil Sci. 75: 383-394.
- 36- Wilcox, O.W. (1948) In "Soil fertility & Fertilizers" 3rd ed. Inc. New York. London.
- 37- Williams, E.G. (1970) Anglo-Soviet Symposium on Agrochemical Res. on the use of Mineral Fertilizers, Moscow.

الفصل الثاني

النايتروجين Nitrogen

يعتبر عنصر النايتروجين من العناصر الغذائية الهامة في تغذية النبات . إذ يمتص النبات النايتروجين من التربة لسد إحتياجاته وبناء أنسجته المختلفة . فالنايتروجين يتحد مع المواد الكربونية المتكونة في النبات ليكون ماثات المركبات العضوية المختلفة التي منها البروتينات والحوامض الامينية والأمايد والفيتامينات ومثبات المركبات النايتروجينية الأخرى مما يعكس أهمية دراسة هذا العنصر الغذائي .

إن معظم المركبات المغذية في التربة مثل مركبات الكالسيوم ومركبات البوتاسيوم والحديد وغيرها نشأت من تحلل الصخور الاصلية أو المعادن الأولية أو الثانوية المكونة لهيكل التربة . أما النايتروجين الموجود بالتربة فمصدره الأصلي هو الهواء الجوي ، إذ يشكل النايتروجين 79.8% من حجم الهواء الجوي . فقد أشار Delwiche (1970) الى أن الهواء الجوي يحتوي على 3.8×10^4 طن من النايتروجين . وبالطبع فإن النباتات غير قادرة على الاستهلاك المباشر للنايتروجين الجوي ، بل إن الاستفادة تقتصر لحد ما على أنواع قليلة جداً من الاحياء الدقيقة التي تقوم بتحويله الى مركبات عضوية خلال عملية خاصة يطلق عليها " تثبيت النايتروجين nitrogen fixation " . وتتلخص هذه العملية بقيام انواع مختلفة من الاحياء الدقيقة التي تمتلك القدرة على إختزال النايتروجين الجوي الى NH_3 تحت ظروف خاصة من الحرارة والضغط ومن ثم يتحول الى مركبات عضوية وبذلك تؤدي هذه الاحياء دوراً هاماً في تحديد طبيعة دورة النايتروجين nitrogen cycle حيث تمسك صمام تحويل جزيئات النايتروجين الجوي الى مركبات عضوية . ولا يمكن التقليل من أهمية هذه العملية في زيادة محتوى التربة من النايتروجين . فقد أكد (Chatt, 1976) بأن الكمية الكلية من النايتروجين المثبتة بايولوجياً في

انحاء العالم تكون محدود 17.2×10^7 طن لكل موسم وبالطبع فإن هذا الرقم يفوق بأربع مرات كمية النايروجين المصنعة كيمياوياً .

أما الاحياء المؤولة عن تثبيت النايروجين الجوي فهي :

1- انواع مختلفة من الطحالب الزرقاء المخضرة

Blue-green algae

2- البكتريا الحرة : اهمها :

(أ) الازوتوباكتر *Azotobacter* ، وهي بكتريا هوائية تنتشر في مختلف الترب ماعدا الحامضية ذات pH أقل من 6 .

(ب) الكلوستريديوم *Clostridium* ، وهي بكتريا لاهوائية ، تختلف عن الازوتوباكتر في قدرتها على تثبيت النايروجين في الترب الحامضية ذات pH أقل من 6 .

إن قدرة البكتريا الحرة على تثبيت النايروجين تحت الظروف الاعتيادية تكون محدودة بسبب حاجتها مصدر للطاقة . وتتراوح الكمية المثبتة بواسطة هذه البكتريا بين 5-10 كغم نايروجين / هكتار (Krikby and Mengel, 1979) .

3- كائنات دقيقة تثبت النايروجين بالتكافل مع كائن حي اخر

(أ) بكتريا العقد الجذرية والمحاصيل البقولية . إن اهم الاجناس التي تعيش تكافلياً *Symbiotic* مع جذور البقوليات *Legume* هي *Rhizobium* . ولهذا النوع من النشاط التكافلي أهمية اقتصادية كبيرة لمساهمته الفعالة في تثبيت النايروجين الجوي . فقد أشار (Stewart, 1967) الى أن قابلية البرسيم والجلت على تثبيت النايروجين الجوي يتراوح تحت أفضل ظروف النشاط بين 100-400 كغم نايروجين لكل هكتار سنوياً .

(ب) تثبيت النايروجين الجوي بواسطة بكتريا العقد الجذرية التي تتكافل مع النباتات غير البقولية مثل نباتات الكازورينا .

(ج) تثبيت النايروجين الجوي بواسطة نباتات *Cycads* إذ تمتاز النباتات التابعة لهذه المجموعة بكون جذورها القريبة من سطح التربة تحمل تركيبات قريبة الشبه بالعقد الجذرية وبداخلها طحلب أخضر مزرق . وتحصل عملية التثبيت من خلال المعيشة التكافلية للأثنين .

(د) تثبيت النايروجين بواسطة عقد خاصة بداخلها انواع من البكتريا مثل الازوتوباكتر *Azotobacter* والبيجيرنكا *Beijerinckia* تحملها اوراق بعض

النباتات . وكان (Guinen, 1961) أول من لاحظ مثل هذه العقبة على أوراق محاصيل القطن والقهوة .

(هـ) تثبيت النايروجين بواسطة احياء دقيقة نامية في المنطقة الجذرية :

(1) التثبيت بواسطة الفطريات التي تعيش تكافلياً مع جذور النباتات .

(2) بعض المحاصيل الزراعية مثل الرز والذرة الصفراء والحنطة والبنجر السكري وكذلك بعض انواع محاصيل المراعي والنباتات المائية التي تحمل جذورها احياء دقيقة معينة من جنس الازوتوباكتر حيث توجد هذه الاحياء الدقيقة داخل مواد هلامية على المجموع الجذري حسب ماوصفها (Neyra and Dobereiner, 1977) .

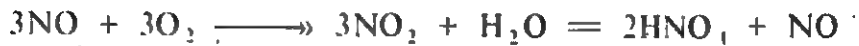
وتختلف قابلية هذه المجموع في تثبيت النايروجين الجوي حسب اختلاف الظروف المحيطة من pH الوسط وتركيز الاوكسجين ودرجة الحرارة والكمية الجاهزة من الفوسفور والبوتاسيوم والحديد والموليبيديوم وغيرها وكذلك المحتوى الرطوبي للتربة ومحتوى المادة العضوية .

وبالاضافة لما سبق ايضاحه ، فإن النايروجين الجوي قد يثبت كيميائياً وفقاً لطريقة هابر – بوش Haber-Bosch method حيث يتفاعل (N_2) الجوي مع الهيدروجين (H_2) تحت ظروف عالية من الحرارة والضغط مكوناً امونيا



ولابد من الاشارة الى أن ماتمثله الكمية المثبتة من النايروجين الجوي كيميائياً قليلة جداً بالمقارنة مع كمية النايروجين المثبتة بايولوجياً . ويوضح الجدول (1) الذي أورده (Hauck, 1971) معدل تثبيت النايروجين الجوي بايولوجياً تحت ظروف مختلفة .

وقد يثبت النايروجين الجوي من خلال إشتراك النايروجين الجوي في الشحنة الكهربائية خلال عملية البرق التي تؤدي الى اكسدة النايروجين (N_2) وفقاً للآتي :



جدول (1) معدل تثبيت النايتروجين الجوي بايولوجيا تحت ظروف مختلفة (Hauck, 1971).

النظام	متوسط التيم كغم نايتروجين / هكتار / سنويا
ارض مزرعة	28-7
ارض مزرعة بحاصيل علف غير بقولية	114-7
ارض مزرعة بحاصيل علف بقولية	865-73
غابات	594-58
حقل أرز	99-13
مياه (بحار + الانهار)	250-70

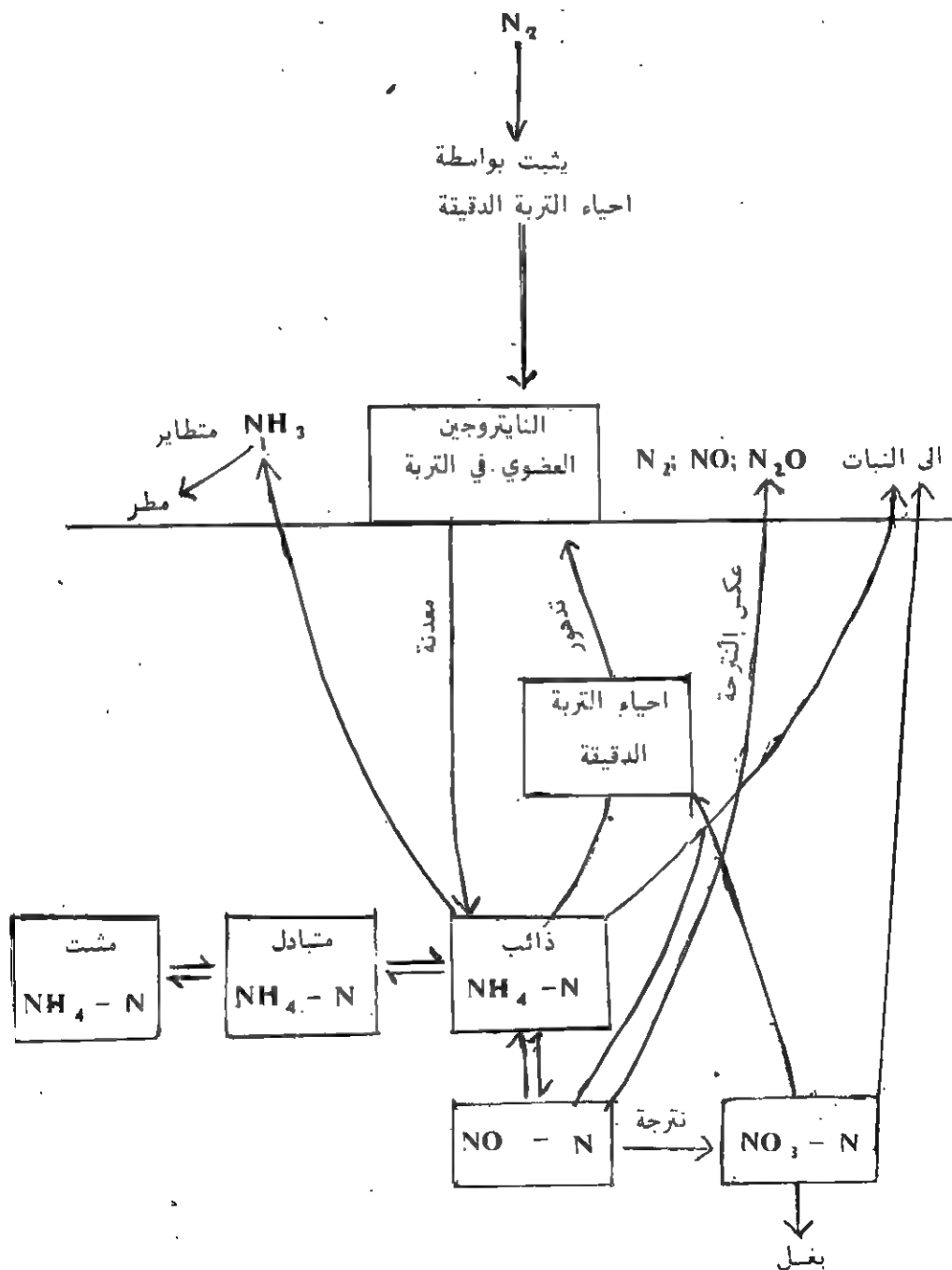
وتكون الكمية التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة قليلة جدا أي بحدود بضع كيلوغرامات لكل هكتار سنوياً . وقد تصل هذه الكمية في المناطق الاستوائية الى مايقرب من 15 كغم نايتروجين / هكتار / سنوياً . كما تساهم الامطار في ترسيب كمية كبيرة من النايتروجين الجوي التي قد تتراوح ما بين 10-60 كغم نايتروجين / هكتار وهذا بالطبع لا يكفي لسد الاحتياجات النايتروجينية المطلوبة من قبل المحاصيل الزراعية .

ومن خلال عملية تثبيت النايتروجين الجوي بايولوجيا يتحول النايتروجين الى صور عضوية من خلال تحوله الى احماض امينية وبروتينات (Mengel, 1979) وبذلك يمكن اعتبار هذه الحالة نقطة بداية تجمع النايتروجين accumulation of nitrogen بالتربة بهيئة مركبات عضوية مختلفة .

دورة النايتروجين Nitrogen cycle

بعد عملية تثبيت النايتروجين الجوي يتحول الى مركبات نايتروجينية عضوية في اجسام الاحياء الدقيقة والنباتات النامية ، وتتحول هذه المركبات العضوية من خلال عملية معدنة النايتروجين nitrogen mineralization الى صور معدنية متعددة . وقد تستخدم انواع من احياء التربة الدقيقة . النواتج المعدنية لصور النايتروجين لتحويلها الى مكونات عضوية في اجسامها من خلال عملية التدهور Immobilization أو تساهم في تحويلها الى صور نايتروجينية غازية . ومن خلال هذه الصورة المبسطة يبدو لنا أن النايتروجين بالصورة العضوية واللاعضوية يتعرض الى تغيرات عديدة تؤثر بشكل جوهري على جاهزية النايتروجين للنبات ومدى

الاستفادة منه . والشكل (1) يمثل صورة عامة لدورة النيتروجين بالطبيعية والتي سنحاول لاحقاً شرح جوانبها المختلفة مع إيضاح تأثير ذلك على طبيعة خصوبة التربة .



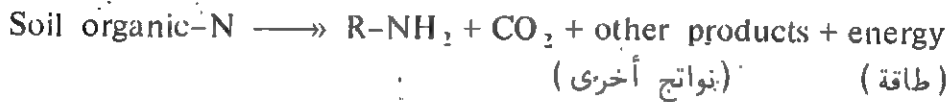
شكل (1) دورة النيتروجين في التربة والجو (Sahrawat, 1979).

Mineralization of organic nitrogen معدنة النايتروجين العضوي

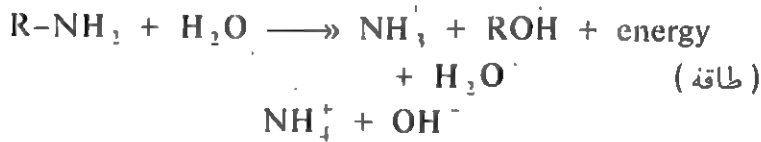
يطلق على عملية المركبات العضوية النايتروجينية الى صور نايتروجينية معدنية بهيئة أيون الامونيوم ammonium ion وايون النترات nitrate ion بمعدنة النايتروجين العضوي . وكما سبق أن أوضحنا فإن لنشاط احياء التربة الدقيقة دوراً هاماً في مسيرة هذه العملية . ويمكن تقسيم عملية معدنة النايتروجين العضوي الى مرحلتين رئيسيتين هي :

Ammonification أولاً : - عملية النشطرة

يقصد بعملية النشطرة تحول المركبات العضوية النايتروجينية الى ايون الامونيوم وتتم هذه العملية بخطوتين ، الاولى تتحول المركبات البروتينية الى أحماض امينية amino acids بواسطة احياء التربة الدقيقة .



ثم تقوم احياء التربة الدقيقة بتحويل الاحماض الامينية (R-NH_2) الى أمونيا التي تكون بدورها أيون الامونيوم



ويمكن ايجاز الاحتمالات التي سترافق ايون الامونيوم المتكون في التربة بالآتي : -

- (1) يدخل في تفاعلات التبادل الأيوني .
- (2) قد يمتص من قبل النباتات النامية .
- (3) يستغل من قبل احياء التربة المحللة للمادة العضوية .
- (4) يثبت في غرويات التربة التي تمتاز بقابليتها التثبينية .
- (5) قد تتطاير الامونيا المتكونة قبل تحويلها الى ايون الامونيوم بالأخص عند توفر الظروف المناسبة لذلك .

(6) يكون فقد ايون الامونيوم أثناء الري (الفقد بالغسل) محدودا وقد يكون معدوماً. فقد أشار (Enzmann, 1983) الى أن زيادة نسبة الطين يقلل من كمية الامونيوم المتحركة مع الماء الأرضي .

(7) قد يتحول ايون الامونيوم بفعل احياء متخصصة الى نترات من خلال عملية النترجة nitrification .

وتساهم احياء التربة الدقيقة من بكتريا وفطر والاكينتومايسيت actinomycetes في عملية تحليل النايروجين العضوي وتحلل أيون الامونيوم . ولا بد من مناقشة العوامل التي تؤثر على عملية النشطرة وبالأخص مايتعلق منها بتركيب المادة العضوية والظروف المحيطة بعملية التحلل .

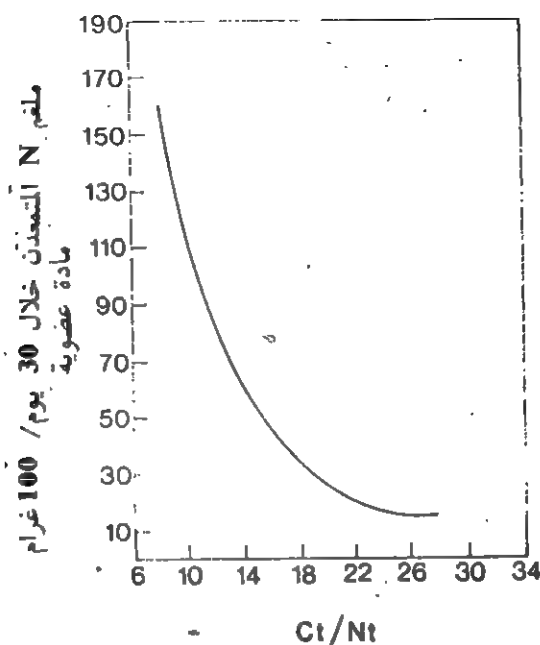
١ - نسبة الكربون الى النايروجين

تلعب نسبة الكربون العضوي الى النايروجين ($\frac{C}{N}$ ratio) دورا هاما في عملية تفسخ المادة العضوية . وتتراوح هذه النسبة بين $\frac{8.5}{1}$ - $\frac{15}{1}$ حسب ما أورده (Russell, 1973) . وإن الحصول على قيمة لهذه النسبة بما يساوي 10 يدل على ظروف التربة الزراعية الجيدة التهوية . إننا لن نحاول هنا أن نتطرق بالتفصيل الى دراسة ميكانيكية تحليل المادة العضوية . بل لابد من الاشارة الى انه كلما كانت نسبة الكربون الى النايروجين واسعة أي أن المادة العضوية تحتوي على نسبة واطئة من النايروجين . فإن ذلك يعني الاستهلاك لجميع النايروجين من قبل الاحياء الدقيقة المحللة في بناء أنسجتها ولا ينتج عن ذلك أي تحرر للامونيا . بل أن زيادة الكربون في المادة العضوية قد يدفع الكائنات الدقيقة الى استهلاك النايروجين المعدني المضاف أو الموجود أصلا بالتربة . لذا يمكن القول بأن معدل تحليل مخلفات البرسيم المضافة للتربة اسرع من تحليل قش القمح Wheat straw بسبب أنساع نسبة (C/N) في الأخير . ويوضح الشكل (2) العلاقة بين معدل معدنة النايروجين العضوي ونسبة الكربون الى النايروجين الموجودة بالمخلفات العضوية .

ويمكن الاستنتاج بشكل واضح أن النايروجين المتحرر من عملية المعدنة يكون اكبر عندما تكون المادة العضوية غنية بالنايروجين . والجدول (2) يشير الى معدل معدنة النايروجين خلال فترة عام في ترب مخنلفة النسجة وتأثير نسبة الكربون الى النايروجين على ذلك .

وتختلف قدرة الاحياء الدقيقة على تحليل المواد العضوية وفقا للتركيب الكيميائي العام لهذه المواد . فالمواد الحاوية على كمية عالية من الكيتين تكون

أكثر تعقيداً في تحليلها من المواد الحاوية على البروتين . كما أن امتصاص الأنزيمات المحللة للمواد البروتينية بواسطة معادن الطين يقلل من نشاط هذه الانزيمات . ومساهمتها في عملية تحليل المادة العضوية .



شكل (2) العلاقة بين معدل معدنة النيتروجين ونسبة الكربون الى النيتروجين (C/N ratio) في الخلفات العضوية (Van Dijk, 1968) .

جدول (2) كمية النيتروجين الكلي في الطبقة السطحية (0-20 cm) وتأثير نسبة الكربون الى النيتروجين على معدل المعدنة (Vomel 1965/1966) .

نسبة النيتروجين الى الكمية الكلية	معدل المعدنة Kg/ha/year	كمية النيتروجين الكلي بالتربة Kg/ha	C/N ratio نسبة الكربون الى النيتروجين	انسجة التربة
0.57	9	1590	12.5	رملية
0.93	43	4650	8.7	مزيجية
0.39	11	2850	9.4	مزيجية
0.73	36	4950	9.8	طينية

ولابد من الاشارة الى وجود مدى حرج Critical range لقيم نسبة الكربون الى النايروجين وكذلك لقيم النايروجين بالخلفات العضوية ومن خلال هذا المدى يمكن تحديد قابلية هذه الخلفات العضوية لتحرر نايروجين معدني لحللول التربة أم لا . كما أن اغلب المصادر العلمية تحدد المدى لقيمة نسبة الكربون الى النايروجين بين 15 الى 33 . والنسبة المثوية لمحتوى الخلفات من النايروجين هو من 1.2 الى 2.6 . ولا يمكن التقليل من أهمية هذه القيم بالأخص عندما تكون هنالك رغبة في تفضيل نوع من الخلفات العضوية دون غيره لحصر الفائدة في الحصول على كمية اكبر من النايروجين .

2- الظروف البيئية المحيطة

تؤدي الظروف البيئية من درجة حرارة ورطوبة وتهوية و pH وغيرها دورا كبيرا في تحديد طبيعة نشاط احياء التربة الدقيقة المساهمة في عملية معدنة المركبات النايروجينية العضوية . وعندما نرغب في معرفة أفضل الظروف فلا بد من دراسة هذه العوامل بشكل منفرد وبجالتها المتداخلة : ولو حاولنا القول بأن الـ (pH) التربة دور كبير في تحديد عملية المعدنة فإن القلوية تزيد من عملية المعدنة وأن أفضل قيم الـ pH في الترب المناسبة لهذه العملية هي 6.5-8 كما تشير الى ذلك معظم المصادر العلمية . كما أن أفضل مدى لدرجة الحرارة من 35-45°م . والانخفاض عن هذا الحد والتجاوز عليه يعرقل هذه العملية .

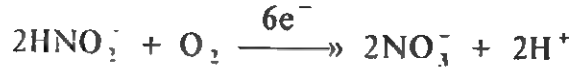
عملية النترجة Nitrification

يطلق على عملية تحويل (الاكسدة البايولوجية) الامونيوم الناتجة من عملية النشطرة أو المضافة الى التربة الى نترات nitrate بعملية النترجة . وتشمل هذه العملية خطوتين ، الاولى تتأكسد فيها الأمونيا الى نترت nitrite بواسطة بكتريا هوائية مثل Nitrosomonas والتي تمثلها المعادلة التالية :



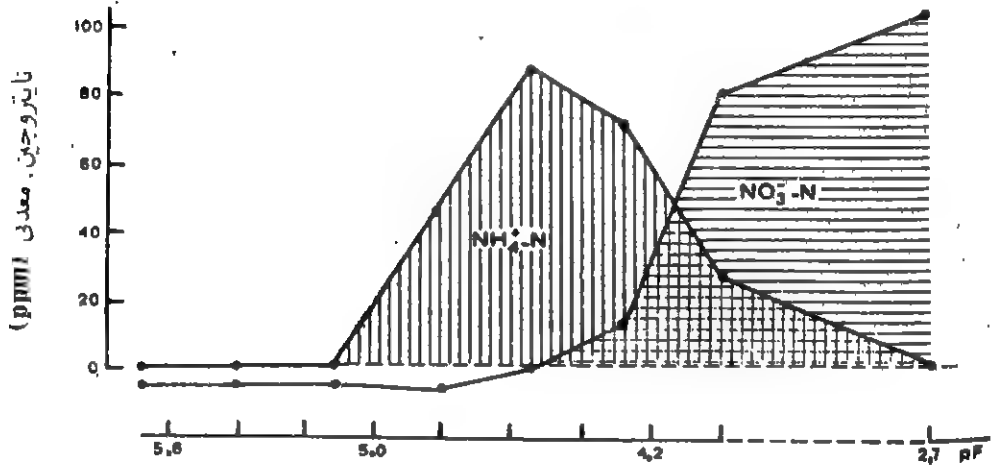
وقد اشار كثير من الباحثين (مثل Hofman and Lees, 1953) بأن هذه الخطوة تم عبر خطوات ثانوية يتكون من خلالها مركبات وسطية مثل هايدروكسيل امين (Hydroxylamine) ونيتروكسيل (Nitroxyl) .

والخطوة الثانية لعملية النترجة تحول النترت الى نترات بواسطة بكتريا خاصة مثل Nitrobacter



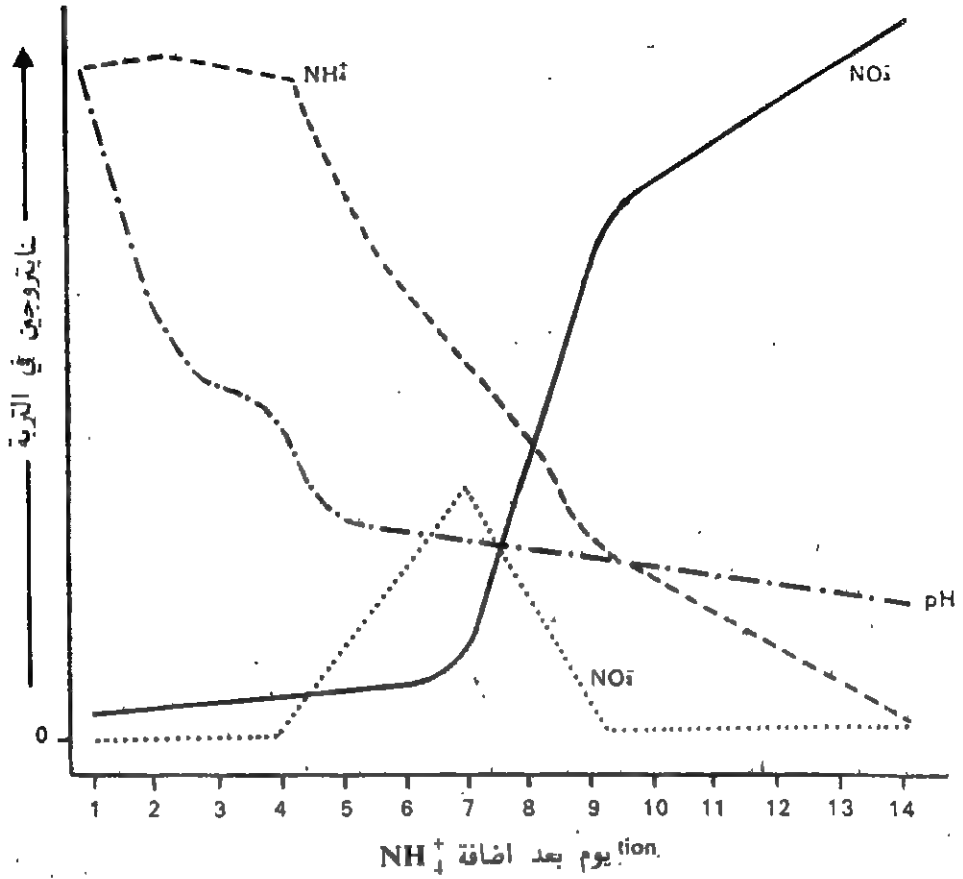
ومن خلال ماورد سابقاً يمكن تحديد الآتي :-

(1) إن عملية اكسدة الامونيوم تحتاج وفرة من الاوكسجين لذا فأن جميع العوامل التي تؤثر على التهوية بالتربة سيكون لها تأثيراً مباشراً على هذه العملية . لذا فأن عملية النترجة تتأثر بالرطوبة العالية (pF 1.0-2.0) وقد تتعطل هذه العملية تماماً عند خلق ظروف لاهوائية كما يوضح ذلك الشكل (3) .



شكل (3) تأثير قيمة pF التربة على تجمع $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ و $\text{NO}_3^- - \text{N}$ في تربة طينية (Dommergues, 1977) .

(2) إن عملية النترجة تقلل من قلوية التربة باستهلاكها للامونيوم وانطلاق ازواج من ايونات الهيدروجين الى الوسط مما يؤدي الى زيادة حموضة التربة (شكل - 4) . ولكن قد لا يحصل هذا الامر بشكل واضح في الترب العالية المحتوى من كاربونات الكالسيوم (الترب البكسية) . وقد تكون هذه النقطة ذات جدوى علمية للتعرف على مدى تأثير عملية النترجة في خفض pH الترب العراقية ،الأخص ذات المحتوى العالي من كاربونات الكالسيوم .

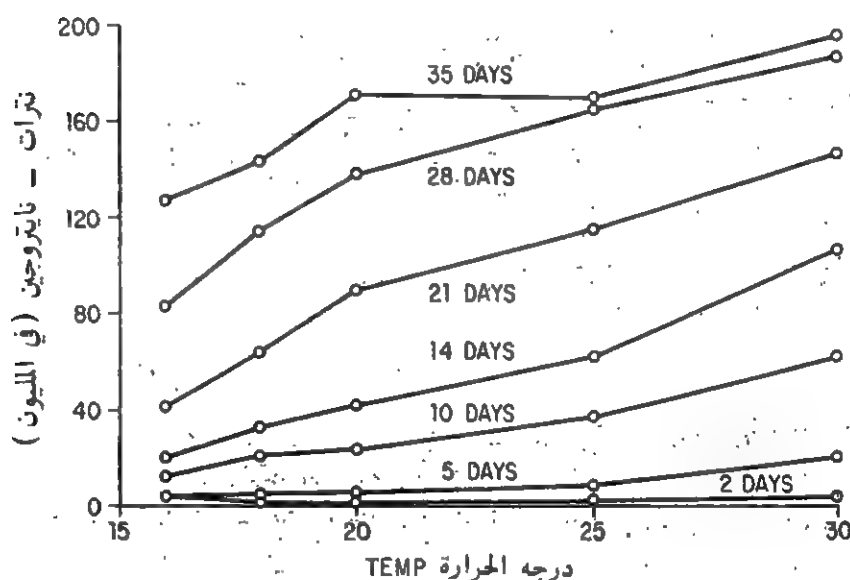


شكل (4) العلاقة بين اكسدة الامونيوم وتكوين النترات و pH التربة
(Duisberg and Buehrer 1954)

(3) تحتاج هذه العملية الى احياء تربة دقيقة متخصصة ومحددة لذا يجب مراعاة الظروف البيئية المناسبة لنشاطها. ولو حاولنا التطرق هنا الى حساسية هذه الاحياء مثلاً لظروف الحموضة، نجد أن فعاليتها تكون أفضل في التربة المتعادلة والقلوية. ويمكن ملاحظة ذلك من النتائج التي أوردتها (Munk, 1958) في جدول (3).

جدول (3) معدل نترجة أيون الامونيوم وعلاقتها بالرقم الهيدروجيني (أضيف 20 ملغم امونيوم - نايتروجين الى التربة).

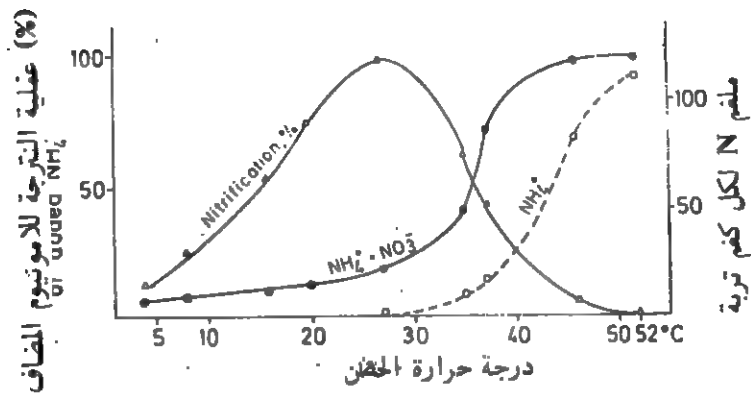
فترة الحضانة باليوم	ملغم $\text{NO}_3\text{-N}$ / 100 غم تربة pH 4.4	pH 6.0
14	1.78	8
21	2.30	12.0
31	4.72	21.4



شكل (5) تأثير الوقت ودرجة الحرارة على عملية النترجة للامونيوم (150 ppm) المضافة الى تربة مزيجية غرينية خلال فترة حضانة 35 يوم (Parker et al, 1962).

وقد اشرنا سابقاً لتأثير الرطوبة على فعالية هذه الاحياء . اما العلاقة بين عملية النترجة ودرجة حرارة التربة فيوضحه الشكل (5) الذي يبين أن أفضل درجة حرارة هي 30°م لتعطي اقصى فعالية لحياء التربة التي تساهم في هذه العملية . إن انخفاض أو تجاوز هذه الدرجة الحرارية سوف يؤثر على عملية اكسدة الامونيا . ويجدر الاشارة الى أن أسهل درجة حرارة قد تختلف مع اختلاف التربة

والظروف المحيطة الأخرى . فقد وجد (Mahendrappa et al 1966) إن أفضل معدل درجة حرارة 20-25°م لمجموعة أخرى في حين لاحظ (Bremner, 1967) أن 40°م تمثل أفضل درجة حرارة لمجموعة أخرى من الترب الزراعية و (Myers, 1975) وأن 60°م أفضل درجة حرارة للمجموعة ترب استرالية . أما (Beck, 1983) فقد حدد درجة 50°م على أنها أفضل درجة حرارة لعملية النشرة و 26°م لعملية النترجة (الشكل 6) .



شكل (6) تأثير درجة الحرارة على عملية النترجة وعلى تجمع ايونات NH_4^+ في التربة بعد فترة حفن لمدة 21 يوماً (Beck, 1983) .

ومن الطبيعي ان ندرس التأثيرات التي تسببها الاملاح على عملية المعالجة خصوصاً بعد تزايد مشكلات الملوحة في العديد من الاراضي الزراعية في العالم وانتشارها في مساحة شاسعة . فقد اشار (Limpan, 1912) الى حصول تثبيط لعملية النترجة بتركيز (0.025 ، 0.35 ، 0.10) % من كل من كاربونات وكبريتات وكلوريد الصوديوم على التوالي . وبمقارنة الاحياء المنتجة للامونيوم مع احياء النترجة لاحظ (Greaves & Jones, 1941) أنَّ الأخيرة أكثر حساسية للاملاح من الاحياء الاولى ، ووضحا أنَّ الملح Na_2CO_3 أكثر تثبيطاً للنترجة من الملح Na_2SO_4 كما لاحظا أيضاً أنَّ الاملاح القاعدية تصبح مثبطة لحياء النترجة قبل تثبيطها للعديد من النباتات الراقية . ففي دراسة (Johnson & Guenzi, 1963) لاحظا انخفاض عملية النترجة بزيادة التراكيز الملحية من كلوريد الصوديوم في حين لاحظا (Sindhu & Cornfield, 1967) أنَّ املاح

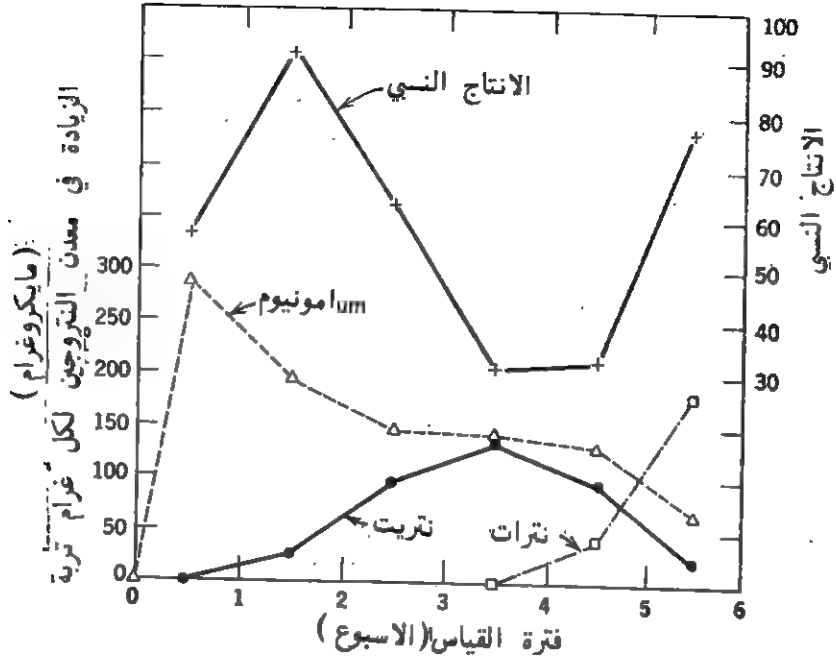
الكبريتات اقل تثبيطا للنتجة من الكلوريدات ، وهذا راجع الى حقيقة هي إن الكبريتات تتأبيض ولا تتجمع في داخل الخلية البكتيرية في حين يتجمع الكلوريد بتركيزات مشبعة . ولكن (Heilman, 1975) لم يلاحظ تأثيراً لأملاح الكلوريد مع العملية في التركيزات الواطئة في حين تثبط في التركيزات العالية .

وعند محاولة تحديد مسارات النترات المنتجة وحالتها من عملية النتجة أو المضافة بشكل مباشر للتربة يمكن بيان الآتي : --

- (1) قد تمتص النترات من قبل النبات النامي او قد تستهلك مرة أخرى من قبل احياء التربة الدقيقة لبناء انسجتها ، والحالة الاخيرة تدفع ايون النترات للتدهور الى حالة يصعب الاستفادة منه من قبل النبات النامي .
- (2) بسبب الشحنة السالبة التي يمتلكها ايون النترات فإن فقده اثناء الري مع الماء الأرضي يكون عالياً ، وسنحاول بيان هذه النقطة لاحقاً بشيء من التفصيل .
- (3) تتعرض صورة ايون النترات في الظروف اللاهوائية الى عملية اختزال خاصة يطلق عليها عملية عكس النتجة Denitrification سنطرق الى جوابها المختلفة لاحقاً .

لقد حاولنا التركيز على الجوانب المختلفة من عملية المعدنة ولابد لنا من الإشارة الى اهمية ماورد سابقاً من حيث تأثيراتها على الجهد الخصبوي للتربة وانعكاس ذلك على حصيللة الانتاج الزراعي . وقد يتصور البعض أن الفهم الدقيق لعملية المعدنة يساعد على زيادة فهم المسارات المختلفة المرتبطة بتحلل المخلفات والأسمدة العضوية فقط بينما هناك جوانب متعددة ذات أثر كبير على سلوك النايتروجين المضاف بهيئة معدنية كالأسمدة المعدنية (الاسمدة الكيماوية) . إذ تساهم هذه العملية في زيادة المعرفة الدقيقة في كيفية الاستفادة المثلى من الصور النايتروجينية الناتجة ومحاولة تجنب الصور الضارة المرافقة لهذه العملية . وحتى نبتعد عن الغموض الوارد ضمن الاستنتاجات السابقة سنحاول مناقشة نتائج التجربة التي توصل اليها (Court et al, 1962) عندما أضاف سمد اليوريا $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ الى تربة ذات $\text{pH} = 7.2$ فقد لاحظ ان ايون الامونيوم قد تكوّن بعد فترة من إضافة هذا السمد ووصل تركيزه الى 300 مايكروغرام لكل غرام تربة . وأن pH التربة قد يرتفع ليصل الى 8.9 (سوف نتطرق لاحقاً الى كيفية تحليل سمد اليوريا وانتاج ايون الامونيوم) . وبالطبع فإن ايون الامونيوم الناتج سوف يتأكسد في الظروف الهوائية . وبالفعل إنخفض تركيز ايون الامونيوم بعد اسبوع وتحول الى $\text{NO}_2\text{-N}$ مع إنخفاض ملحوظ في pH التربة إذ وصل الى 6.2 ، وقد أخذ تركيز $\text{NO}_2\text{-N}$ يزداد حتى وصل الى اقصاه بعد أربعة اسابيع . ثم أخذ بالإنخفاض التدريجي مكوناً

$\text{NO}_3^- - \text{N}$ وأن pH التربة حافظ عند قيمته (6.2) حتى الاسبوع الخامس والسادس من التجربة . والشكل (7) يلخص تلك النتائج .



شكل (7) إستجابة محصول البذرة الصفراء لسداد اليوريا المضاف لتربة مزيجية رملية (7.4 = pH) حسب ما أورده (Court et al, 1962) .

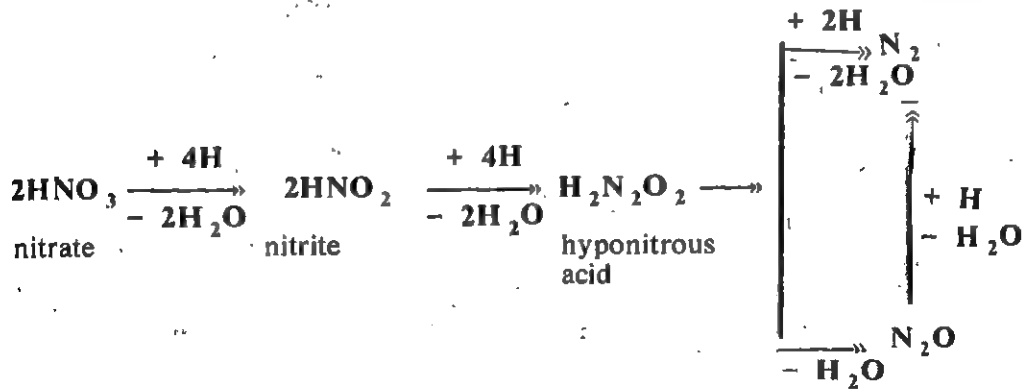
ومن الشكل السابق يتضح الضرر الذي يصيب الانتاج خلال عملية النتجة بسبب التركيز العالي من ايون $\text{NO}_2^- - \text{N}$ الذي ادى الى موت بعض النباتات . وعلى الرغم من ذلك فقد استخدم سماد اليوريا منذ سنوات في العراق بنجاح دون ظهور أي اعراض ضارة بل كانت الاستجابة لهذا السماد جيدة كما مبين في نتائج Fathalla, 1978, Al Ani, 1973, Ahamad, 1975 وغيرهم . وقد يعزا سبب ذلك الى خصائص الترب العراقية من خلال المحتوى العالي من الاملاح والقلوية alkalinity الذين يعملان على عرقلة عملية النتجة كما اشار الى ذلك (Elkholi, 1972) .

إن مشكلة التركيز العالي من $\text{NO}_2^- - \text{N}$ وعلاقة ذلك بالانتاج الزراعي قد قام بدراسته باحثون كثيرون فعلى سبيل المثال الدراسة المقارنة التي قام بها (Paul and Polle, 1965) عندما أضاف سماد نترات الامونيوم NH_4NO_3 وسماد كبريتات الامونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ الى نباتات الخس المزروعة في ترب كلسية . فقد

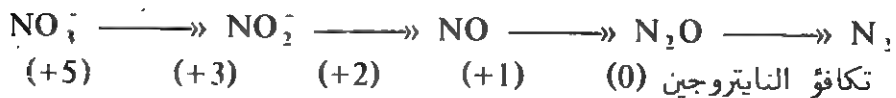
ظهر الاصفرار وانخفاض الانتاج خلال الشهر الاول ثم بدأت حالة النمو تعود الى حالتها الطبيعية . وعند مقارنة هذه النتائج مع اضافة سماد نترات البوتاسيوم ، لم تظهر هذه الحالة وبدأ النمو واستمر بحالة جيدة . الأمر الذي دفع الكثير من الباحثين الى استخدام موانع Inhibitor لعملية النترجة تحجباً للسمية القاتلة للنبات النامي مثل 2-Chloro-6 (trichloromethyl) pyridine الذي يفضل اضافته مع الاسمدة النايروجينية التي تحتوي على صورة ايون الامونيوم . إن التركيز السام لـ NO_2^- -N يحصل عند حدود 0.1-0.25 مايكروغرام NO_2^- لكل ملتر . وقد وجد (Bingham et al, 1954) أن زيادة تركيز NO_2^- عن 0.5 مايكروغرام NO_2^- -N لكل ملتر عند pH مساوٍ لـ (8) يؤدي إلى خفض انتاج الطماطة معنوياً . ولا بد من القول بأن هنالك حلولاً متعددة استخدمت أخيراً لهذه الظاهرة ليس لدينا هنا مجال لبيانها .

عملية عكس النترجة Denitrification

تقوم انواع من الاحياء الدقيقة بالتربة بأختزال النترات والنترات الى صور غازية هي N_2 ، N_2O ، NO مما يدفعها الى الانطلاق الى الهواء الجوي ، وهذه العملية يطلق عليها بعملية عكس النترجة denitrification . ويعتبر Gayan and Dupetit عام 1886 أول من اشار الى هذه العملية التي يمكن أن تصفها المعادلة الآتية :



ويمكن وصف مايجري بعملية عكس النترجة أيضاً بالآتي :



إن الأساس العام في هذه العملية كما يصفه (Focht, 1978) انه في الظروف اللاهوائية تقوم بعض احياء التربة الدقيقة باستعمال النترات في حالة غياب الاوكسجين في استقبال الهيدروجين . وقد وجد (Allison, 1966) أن كمية النايروجين المفقودة بهذه العملية يتراوح بين 5-50% من كمية النايروجين الكلية التي تضاف للتربة . وقد اشارت نتائج (Kowalenko and Cameron, 1977) الذي أضاف السماد النايروجيني N-15 labelled fertilizer الى محصول الشعير في تجربة حقلية أشارت الى أن معدل ما استرجع بواسطة النبات من السماد النايروجيني يتراوح بين 54-69% والكمية الباقية (31-46%) تمثل الفقد في عملية عكس النترجة . وقد تم هذه العملية في الظروف الهوائية عند غياب التجانس بتوزيع الاوكسجين في مقد التربة .

ويستلزم لعملية عكس النترجة توفير المستلزمات الآتية :

(1) احياء تربة دقيقة ويمكن تحديد الاحياء الدقيقة الآتية باعتبارها المسؤولة عن هذه العملية وهي بصورة عامة من انواع Micrococcus, Pseudomonas, Bacillus, Achromobacter (Carter and Allison, 1961, 1961) .

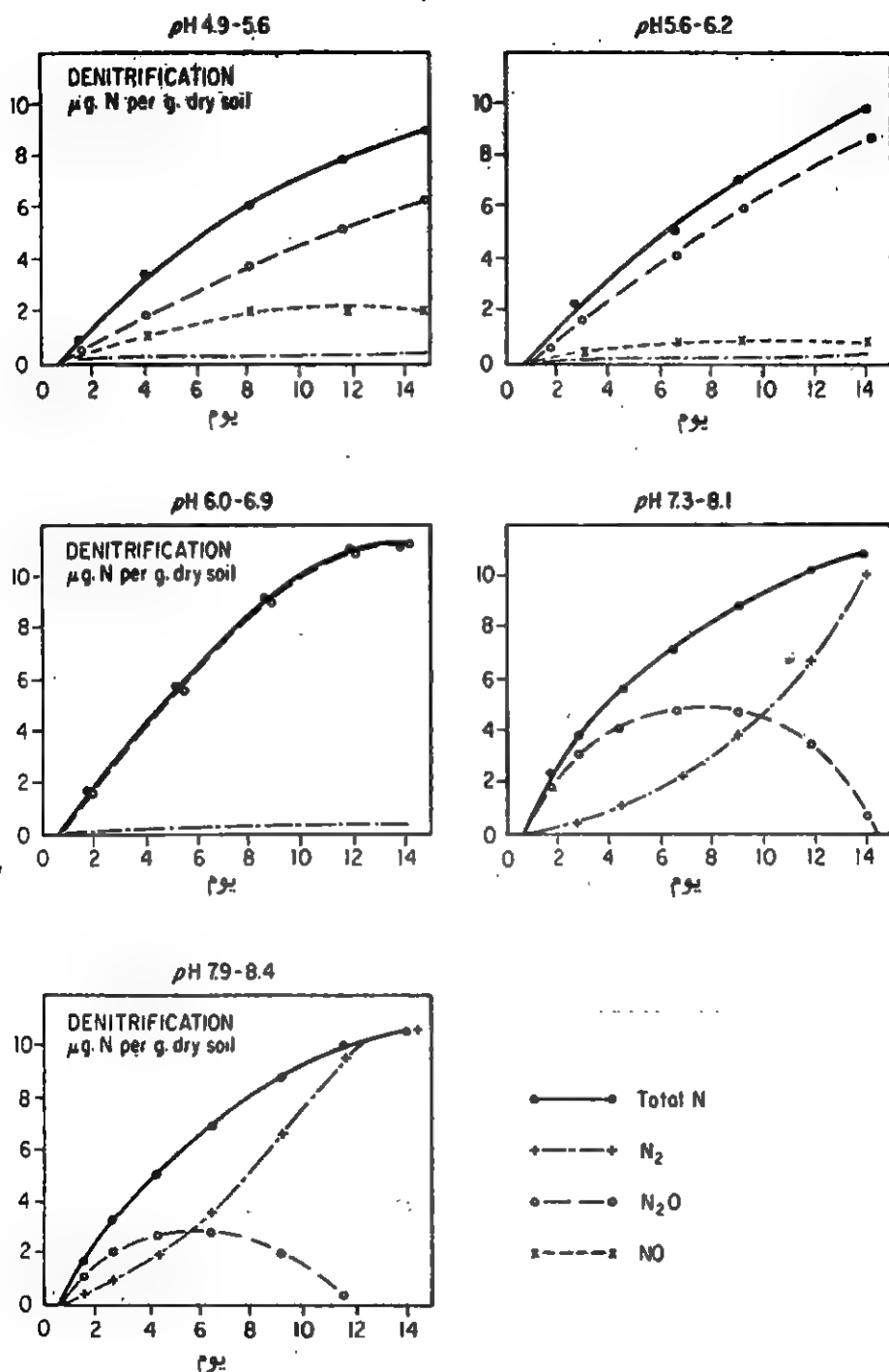
(2) وفرة مركبات واهبة للإليكترونات electron donors مثل المركبات العضوية الكربونية organic carbon compounds ومركبات الكبريت المختزلة وجزيئات الهيدروجين molecular hydrogen .

(3) توفر الظروف اللاهوائية anaerobic conditions .

(4) وفرة الصور النايروجينية : N_2O , NO , NO_2 , NO_3 ولا بد لنا من ايجاز العوامل المؤثرة على عملية عكس النترجة وهي الآتي :

1- الرقم الهيدروجيني للتربة Soil pH

إن ارتفاع الرقم الهيدروجيني للتربة عن 5 يجعل من كمية النايروجين المفقودة في عملية عكس النترجة . وقد درس (Wijler et al. 1954) تأثير قيم مختلفة من ال pH لعينات ترابية مختلفة على عملية عكس النترجة للنايتروجين المضاف للرسم في تربة مزيجية طينية غرينية كما يشير الى ذلك الشكل (8) .

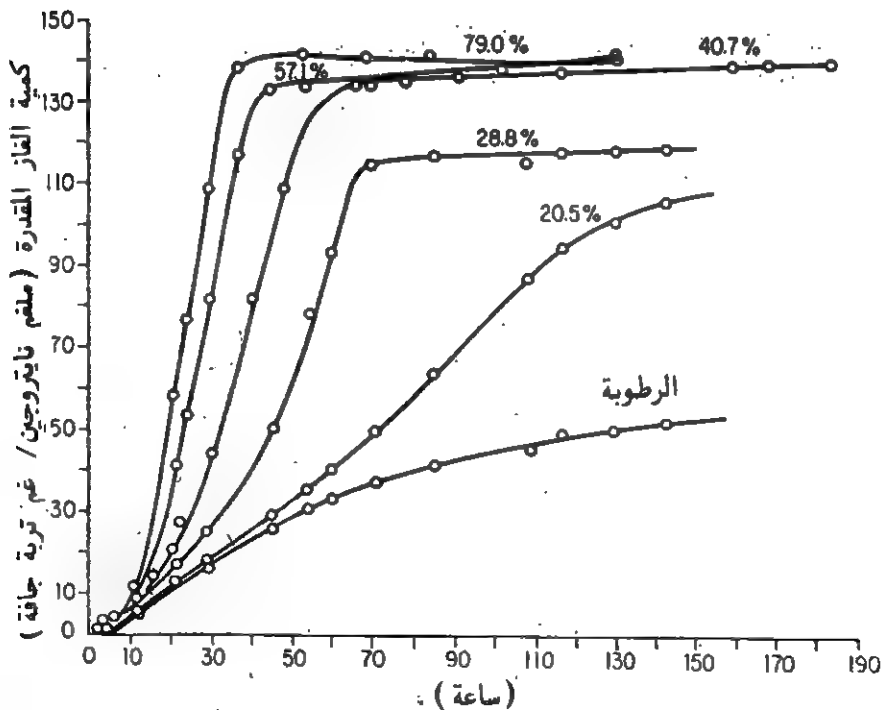


شكل (8) تأثير pH التربة على عملية عكس النترجة للنايتروجين المضاف الى تربة مزيجية طينية غرينية (Wijler et al, 1954).

ومن خلال هذه الاشكال نجد أنه عند حدود pH من 4.9 الى 5.6 يكون معظم الفقد غالباً للنايتروجين المضاف بهيئة اوكسيد النايترجين N_2O لكونه الناتج الرئيسي المتكون في مثل هذه الظروف . وعند حدود pH 7.3-7.9 يفقد النايترجين بكمية كبيرة بهيئة N_2 وبكمية قليلة بهيئة N_2O إذ يمكن من خلال ذلك التأكيد على صحة الأستنتاج السابق الذكر بأن ارتفاع pH التربة يزيد كمية الفقد من خلال زيادة انتاج غاز النايترجين (N_2) المتحرر . وقد أشار (Bremner and Shaw 1958) الى أن أقصى فقد للنايتروجين بعملية عكس النترجة يكون عند حدود pH (8.0-8.6) .

2- المحتوى الرطوبي بالتربة

إن زيادة المحتوى الرطوبي بالتربة وصولاً الى الظروف اللاهوائية يؤدي الى زيادة كمية النايترجين المفقودة بعملية عكس النترجة (الشكل 9) ، ولا يعني هذا وجود تأثير مباشر للماء بل أن السبب الرئيسي هو انخفاض محتوى هواء التربة من الاوكسجين .



شكل (9) تأثير محتوى التربة الرطوبي على عملية عكس النترجة (Mc Garity, 1961) .

3- درجة الحرارة

إنَّ ارتفاع درجة الحرارة تساهم في تنشيط العمليات الحيوية وتزيد من استهلاك الاوكسجين من قبل احياء التربة الدقيقة. ولذلك لابد لنا من أن نتوقع زيادة كمية النايروجين المفقودة في عملية عكس النترجة. ولا يعني هذا وجود علاقة طردية بين كمية النايروجين المفقودة ودرجة الحرارة وبشكل خطي متواصل. بل يمكن القول أن طبيعة العلاقة تتحدد من خلال معدل النشاط الحيوي وكمية النايروجين المفقودة. والدليل على ذلك ما أورده اقصاه في الربيع وبداية الصيف وينخفض معنوياً خلال فصل الصيف بسبب الحرارة العالية جداً.

4- محتوى التربة من المادة العضوية

إنَّ زيادة محتوى التربة من المادة العضوية يساعد على زيادة النشاط الحيوي لأحياء التربة وزيادة تجمعاتها واستهلاكها للاوكسجين مما يؤدي ذلك الى زيادة كمية النايروجين المفقودة بعملية عكس النترجة. فقد أشار (Russell, 1973) الى أن اضافة الاسمدة العضوية الى الترب تسرع عملية عكس النترجة وبالأخص في الظروف المعتدلة الحرارة. ووفقاً لنتائج تجربة المقارنة التي قام بها (Dilz and Woldendorp, 1960) فإن معدل عكس النترجة (جدول 4) يكون مرتفعاً في الترب العضوية مقارنة الترب الطينية التي تمتاز بشكل أو بآخر بكونها متوسطة التهوية. وقد أكد (Firestone, 1982) أنَّ زيادة محتوى التربة من الكربون العضوي يؤدي الى زيادة عملية عكس النترجة.

جدول (4) يبين معدل عكس النترجة في ترب مختلفة الخصائص

نوع التربة	% كمية النايروجين المفقودة من الكمية الكلية المضافة
تربة رملية	11-25
تربة طينية	16-31
تربة عضوية	19-40

5- تأثير المجموع الجذري

- يمكن ايجاز تأثير المجموع الجذري على عملية عكس النترجة بالآتي :
- (1) يجهز المجموع الجذري الوسط بالكأربون الذي يساهم في عملية إختزال NO_3^- من خلال تزويد العملية بالاليكترونات .
 - (2) يتنافس المجموع الجذري مع احياء التربة الدقيقة على الاوكسجين ، أي يساهم المجموع الجذري بخلق الظروف اللاهوائية بسبب تنفس الجذور .
 - (3) وبنفس الوقت يساهم المجموع الجذري ايضاً على انتشار الاوكسجين من خلال امتصاص الماء وخفض محتوى التربة الرطوبي .
 - (4) يمتص المجموع الجذري NO_3^- نتيجة لامتصاصه من قبل النبات .
- ومن هنا يمكن القول بأن تأثير المجموع الجذري على عملية عكس النترجة قد يكون سالباً أو موجباً أو قد لا يكون هنالك تأثير .

ومن خلال ماورد سابقاً نجد أن الكمية الضائعة من النايتروجين المضاف ليس بسيطاً تحت ظروف بيئية مختلفة . وقد وجد بعض الباحثين امثال (Krikbye and Menyel 1979) أن اضافة مواد مانعة لعملية النترجة nitrification inhibitor لها تأثير قليل على عملية عكس النترجة . لذا لا بد من التأكيد على الدور الكبير الذي تلعبه هذه العملية في دورة النايتروجين بالتربة والطبيعة .

تطاير الأمونيا Ammonia Volatilization

إجريت خلال السنوات الماضية العديد من الدراسات حول فقد الامونيا من الاسمدة النايتروجينية المضافة الى ترب مختلفة الخصائص . وقد إهتمت هذه الدراسات ايضاً بالعوامل المؤثرة على هذه العملية . وقد يطلق على عملية فقد غاز الامونيا من التربة بتطاير الامونيا Ammonia Volatilization . ولا يقتصر تطاير الامونيا من الاسمدة النايتروجينية المضافة فحسب وإنما تتطاير الامونيا من تحلل الأسمدة والمخلفات العضوية المضافة الى الترب . والجدول (5) يوضح فقد الامونيا بعد الإضافة السطحية لأسمدة نايتروجينية مختلفة .

جدول (5) فقد الامونيا من الاسمدة النايروجينية المختلفة المحسوبة في الحقل

المصدر	كمية النايتروجين المفقودة بـ NH_4^+	pH	التربة قوام	الاسمدة المضافة نوعية السماد	الكمية كغم نايتروجين / هكتار
Nommik, 1966	22	7.7	مزيجية رملية	يوربا	50
	17			نترات الامونيوم	50
Ventura and	19	6.3	مزيجية غرينية	يوربا	150
Yoshida, 1977	3	7.1	مزيجية طينية	كبريتات الامونيوم	100
Mikkelsen	8	7.0	طينية	يوربا	100
et al. 1978	7			كبريتات الامونيوم	90
	6			يوربا	90
Kresge and	4	6.3	مزيجية غرينية	كبريتات الامونيوم	150
Satchel, 1960					

لقد اشار (Fenn and Kissel, 1973) الى أن إضافة الاسمدة النايروجينية الى الترب الكلسية يرافقها تكوين المركب كاربونات الامونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ وفقاً للتفاعل الآتي :



إذ أن Y يمثل الأيون السالب المرتبط مع كاتيون الامونيوم (NH_4^+) ، N ، X ،
لموازنة المعادلة وان n, x قيم يحددها تكافؤ الايون الموجب والسالب . ويتحلل
مركب كاربونات الامونيوم وفقاً للآتي الى :



وعندما يكون Can Yx غير ذائب فإن التفاعل يؤدي الى تكوين المزيد من
مركب كاربونات الامونيوم وبالتالي مركب هايدروكسيد الامونيوم . واذا كان هذا
المركب ذائباً فإن الكمية المتكونة في مركب كاربونات الامونيوم تكون قليلة . وقد
أكد الباحثون ، أن الأسمدة التي تكون نواتج غير ذائبة مثل HPO_4^{2-} و

ذائبة مع الكالسيوم مثل $\text{Ca}(\text{NO}_3^-, \text{Cl}^-, \text{I}^-)$ تفقد كمية قليلة من الامونيا . بينما الأسمدة التي تكون نواتج $\text{Ca}(\text{F}^- \text{ و } \text{SO}_4^{2-})$ تفقد كمية كبيرة من الأمونيا .

ولابد من الإشارة هنا الى الانتقاد الذي قدم من الباحثين (Feagley & Hossner, 1978) لنظرية (Fenn and Kissel) الخاصة بشرح ميكانيكية تطاير الامونيا من الاسمدة النايتروجينية فقد اكد أن تكوين المركب $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ في التربة يحتاج الى ظروف pH مرتفعة. وهذا لا يمكن الاعتقاد بأن الناتج الوسطي intermediate المتكون في ظروف الترب الكلسية . وقد اقترحا تكوين المركب بيكربونات الامونيوم $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)$ كمركب وسطي ، كما توضح ذلك تفاعلات سماد كبريتات الامونيوم المضافة الى سطح ترب كلسية :



وقد يتحد أيون الكالسيوم وأيون الهيدروكسيد (OH^-) الناتج من التحلل المائي لكربونات الكالسيوم مع مزيد من السماد المضاف (سماد كبريتات الامونيوم $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ كالاتي :



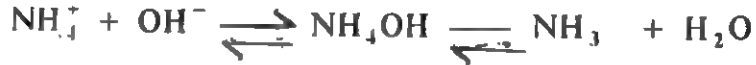
ومن خلال جمع التفاعلات السابقة يمكن الحصول على المعادلة الرئيسية التالية



ومن هنا يمكن القول ان النتيجة النهائية التي اوردها (Feagley & Hossner) هي نفس النتيجة النهائية التي اوردها (Fenn & Kissel) . ويمكن الاستنتاج مما ورد سابقاً. أن سلوكية مركبات الامونيوم المضافة لأي تربة تختلف بقدرتها على إنتاج الامونيا .

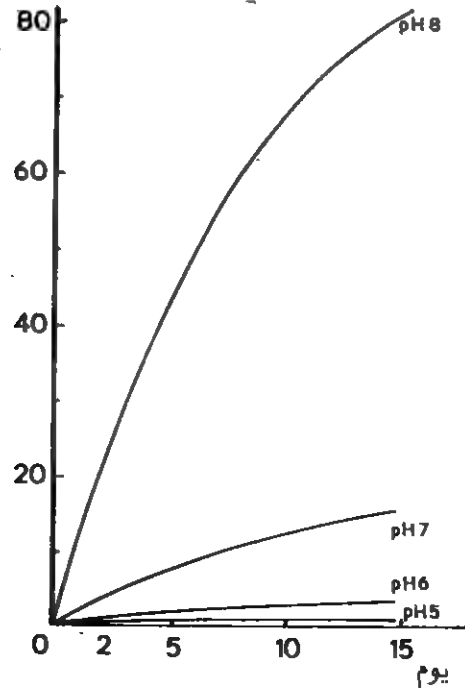
العوامل التي تؤثر على تطاير الأمونيا : pH -1 الوسط

نقد أشارت عدة دراسات الى إن كمية الامونيا المتطايرة من اسمدة الامونيوم واليوريا المضافة للتربة تزداد مع إرتفاع pH التربة (Martin & Chapman, 1951 Loftis & Scarsbrook, 1969, Chao & Kroontje, 1964, Ernst & Massey, 1960 Watkins et al 1972). فقد اشار على سبيل المثال (Chao & Kroontje 1964) الى ان كمية الامونيا المتطايرة قد إزدادت بنسبة 40% عند رفع pH التربة من 7.4 الى 7.8. كما اشار (Mills et al., 1974) الى أن كمية الامونيا المتطايرة كانت 17% عندما كان pH الوسط 7.2 وقد ارتفعت الى 63% بعد رفع الـ pH الى 8.0-8.5 خلال فترة سبعة ايام. ويمكن وصف طبيعة تأثير pH التربة على سلوك ايون الامونيوم المتكون او المضاف من خلال المعادلة الآتية :



إذ إن زيادة تركيز إيون OH^- في الوسط يدفع طبيعة تفاعل المعادلة السابقة نحو اليمين. وبذلك تتعرقل مسيرة تكوين مزيد من غاز الامونيا عند خفض pH الوسط. وهنالك الكثير من الدراسات التي اشارت الى إن إضافة اللايم مثلاً للتربة الحامضية يؤدي الى زيادة فقد الامونيا من الاسمدة النيتروجينية المضافة. والشكل يوضح طبيعة العلاقة بين pH التربة وكمية الامونيا المتطايرة.

كمية فقد الامونيا - نيتروجين (%)

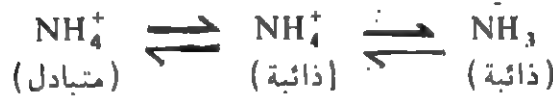


2- درجة الحرارة

يختلف تأثير درجة الحرارة على كمية الامونيا المتطايرة وفقاً لاختلاف الاسمدة النايروجينية المضافة وكذلك خواص التربة . فلقد وجد (Fenn & Kissel, 1974) أن ارتفاع درجة الحرارة من 12 الى 32°م قد ادى الى زيادة في كمية الامونيا المتطايرة من الاسمدة النايروجينية المضافة بشكل عام . كما اشار Vlek & Stumpe 1978 الى ان ارتفاع درجة الحرارة يؤدي الى زيادة سرعة إنتشار غاز الامونيا من التربة يساهم في زيادة مغدل الفقد . ووجد (Wahhab et al, 1956) الى أن ارتفاع درجة الحرارة من 30°م الى 45°م ادت الى زيادة كمية الامونيا المتطايرة من سماد كبريتات الامونيوم بمقدار 18% كما أشار (Das & Khan, 1967) الى إن سرعة تطاير الامونيا من اليوريا تزداد بارتفاع درجة الحرارة وقد عزا سبب ذلك الى سرعة تحلل اليوريا .

3- السعة التبادلية الكاتيونية ونوعية الكاتيون المتبادل

لقد إعتبر (Gasser, 1964) السعة التبادلية الكاتيونية عاملاً هاماً يحدد كمية الامونيا المتطايرة من الاسمدة النايروجينية المضافة إذ وجد أن كمية الامونيا المتطايرة قد تناقصت من 20% عند سعة تبادلية كاتيونية 10% ملي مكافئ / 100 غرام الى 10% عند سعة تبادلية كاتيونية 20 ملي مكافئ / 100 غرام . إن ارتفاع السعة التبادلية الكاتيونية للتربة يعني إنجذاب كمية كبيرة من ايون الامونيوم الى سطح الغرويات وبذلك تقل كمية الامونيا المتطايرة من خلال إنخفاض كمية الامونيا بمحلول التربة [ذائبة (aq) NH_3] .



ويمكن القول إن العكس صحيح . كما يمكن الوصول الى استنتاج مما يتعلق بعلاقة قوام التربة بكمية الامونيا المتطايرة وكذلك نوعية معدن الطين السائد . أما من ناحية تأثير نوعية الكاتيون المتبادل على تطاير الامونيا فقد وجد (Martin & Chapman, 1951) أن كمية الامونيا المتطايرة تكون عالية في ترب مشبعة بالبوتاسيوم والصوديوم بالمقارنة مع ترب مشبعة بالكالسيوم والمغنيسيوم وقد يرجع سبب ذلك الى ارتفاع قيمة pH التربة عند التشبع بالصوديوم والبوتاسيوم . كما وجد أن كمية الامونيا المتطايرة عند التشبع بالمغنيسيوم تكون

اعلى من التشبع بالكالسيوم . أما (du Plessis & Kroontje, 1964) فقد وجد عكس هذه النتيجة ، ولكن ارتفاع ضغط ثاني اوكسيد الكربون بالوسط سوف يعكس التأثير إذ تساهم المستويات المرتفعة من ثاني اوكسيد الكربون الى ترسيب الكالسيوم بهيئة كاربونات ولهذا فإن التربة المشبعة بالمغنيسيوم تفقد كمية عالية من الامونيا بسبب ارتفاع pH الوسط .

4- تأثير الاملاح .

إن وجود الاملاح في التربة يؤثر على عملية التطاير من خلال التأثير المباشر على pH التربة . وسنحاول التركيز أولاً في مناقشتنا هذه على تأثير كل من كاربونات الكالسيوم والجبس على تطاير الامونيا ثم ننتقل الى تأثير الاملاح الذائبة على ذلك .

لقد اشار (Ryan et al 1981) الى وجود ارتباط معنوي موجب بين محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم وفقد الامونيا ، كما بين (Fenn & Kissel, 1974) أن نسبة كاربونات الكالسيوم في التربة تؤدي الى تقليل وقت التفاعل وبذلك تزداد كمية الامونيا المتطايرة . فقد اكد Steenbjerg أن كمية الامونيا المتطايرة في تربة تحتوي على 1-2% كاربونات كالسيوم كانت 25% بينما هي في تربة تحتوي على 5-10% كاربونات كالسيوم قد زادت لتصل كمية الامونيا المتطايرة الى 50% .

ويمكن لنا أن نضيف في هذا المجال لما أورده معظم الباحثين أن تأثير كاربونات الكالسيوم على المركبات السمادية هو أما من خلال التفاعل المباشر كما سبق أن اوضحناه وأما بسبب نواتج التحلل المائي hydrolysis لكاربونات الكالسيوم التي تؤدي الى رفع قيمة pH التربة



فقد اشار (Ernst & Massey, 1960) الى إن إضافة CaCO_3 الى التربة الحامضية سيؤدي الى رفع الـ pH ويصبح التطاير اكثر حدوثاً ، ويمكن ايجاز ماتوصلوا اليه بالجدول التالي

7.5	7.0	6.5	6.0	5.5	5.0	pH
55	40	28	18	12	8.0	النسبة المئوية لفقد النايروجين

ويمكن الإشارة هنا الى ان تأثير محتوى التربة في كاربونات الكالسيوم على سماد اليوريا المضاف الى التربة يكون تأثيراً غير مباشر بسبب رفع pH الوسط الذي يسهم في سرعة تحلل مركب بيكاربونات الامونيوم المتكون . ويمكن ايضاً ايجاز تأثير وجود كبريتات الكالسيوم على تطاير الامونيا بأن هذا الملح يتفاعل مع المركب الناتج (بيكاربونات الامونيوم او كاربونات الامونيوم) من تفاعل السماد و كاربونات الكالسيوم مما يؤدي الى إعادة ترسيب كاربونات الكالسيوم وبالتالي تقل الامونيا المتطايرة :



إن وجود الاملاح الذائبة في التربة تساعد على زيادة كمية الامونيا المتطايرة ، ويعود سبب ذلك الى أنَّ الاملاح تزيد من ذوبان كاربونات الكالسيوم بنسب تكسيروها له وجعل الكمية غير النشطة منه بحالة نشطة وفعالة . لقد اشار (Gandhi and Paliwal, 1976) الى أن كمية الامونيا المتطايرة من الأسمدة النايتروجينية تزداد مع زيادة التوصيل الكهربائي للتربة إذ اوضحت نتائجها بأن الفقد خلال الاسبوع الاول من التجزبة كان بالنسب (11.1 ، 13.5 ، 20 ، 33.5%) عند درجات التوصيل الكهربائي 5 ، 10 ، 20 ، 40 ملي موز / سم على التوالي .

5- مستوى السماد والمضاف وطريقته

إن زيادة كمية اليوريا واسمدة الامونيوم المضاف يؤدي الى زيادة كمية الامونيا المتطايرة ولكن النسبة المثوية للامونيا المتطايرة من الكمية الكلية للنايتروجين المضاف تبقى ثابتة (Martin & Chapman, 1951 ، Vlek & Stumpe, 1978 ، Hargrove et al, 1977) . وقد لاحظ باحثون آخرون أنَّ نسبة الامونيا المتطايرة تزداد مع زيادة كمية الامونيوم المضافة (Overrein & Moe, 1967) . وفي تجارب مختبرية على ترب كلسية لاحظ (Fenn & Kissel, 1974) أنَّ كمية الامونيا المتطايرة من سماد كبريتات الامونيوم المضاف الى ترب كلسية قد إزدادت من 19 الى 50% مع زيادة مستوى السماد من 33 الى 550 كغم / $\text{NH}_4\text{-N}$ هكتار ولكن لا تحصل هذه الحالة مع سماد نترات الامونيوم وقد عزا سبب ذلك الى تكوين الراسب مع الكالسيوم أو عدم تكوينه إذ أنَّ نترات الامونيوم يكون نترات الكالسيوم الذائبة . وقد بين (Simpson & Milsled, 1963) أنَّ فقد الامونيا لا يتأثر بمستوى اليوريا

المضافة الى التربة ولكن أكد (Volk, 1959) أن فقد الامونيا يتناسب طرديا مع كمية اليوريا المضافة .

تشير النتائج التي توصل اليها باحثون كثيرون الى أن خلط كبريتات الامونيوم مع التربة او إضافته تحت سطح التربة يؤدي الى التقليل من فقد الامونيا (Fenn & Escarzago, 1976) . وعندما درس (Fenn & Kissel, 1976) تأثير زيادة عمق إضافة كبريتات الامونيوم على فقد الامونيا أخذين بنظر الاعتبار السعة التبادلية الكاتيونية للتربة ورطوبتها . وجد أنه في حالة كون غطاء التربة رطباً إنخفض الفقد من التربة الطينية (السعة التبادلية 59 ملي مكافئ / 100 غرام) من 45% في الإضافات السطحية الى 2% عند الاضافة على عمق 5 سم وقد تلاشت كمية الامونيا المفقودة عند إضافة كبريتات الامونيوم على عمق 7.5 سم . أما في التربة الطينية الغرينية (السعة التبادلية الكاتيونية 22 ملي مكافئ / 100 غرام) فقد إنخفض الفقد من 75% في الإضافات السطحية الى 60% عند اضافتها على عمق 7.5 سم اما عندما كان غطاء التربة جافاً فإن كمية الفقد قلت أكثر من هذه النسب . وقد علا سبب ذلك على أساس إن حركة الماء الشعري الى سطح التربة هي العامل الرئيسي لفقد الامونيا عند إضافة مركبات الامونيوم تحت سطح التربة . فبدون حركة الماء الشعري فإن كميات كبيرة من الامونيا لا يمكن وصولها الى سطح التربة .

6- محتوى التربة الرطوبي

اشار العديد من الباحثين الى إن تطاير الامونيا من التربة المعاملة بكبريتات الامونيوم يعتمد على المحتوى الرطوبي للتربة (Chao & Kroontje, 1964) . ففي تجارب مختبرية أجراها (Fenn & Escarzago 1976 ، Wahhab et al 1965) وجد أن تطاير الامونيا من كبريتات الامونيوم كانت أكثر عندما كانت نسبة الرطوبة 55% مقارنة بالنسبة لمحتوى الرطوبي 30% . وقد استنتج أن تطاير الامونيا يعتمد على تواجد كمية كافية من الماء لإذابة املاح الامونيوم . أما (Meyer et al 1961) فقد اشار الى إن الإضافات السطحية لمركبات الامونيوم الى التربة الجافة سوف تبقى طيلة فترة بقاء التربة جافة دون تحلل . وقد اكدوا ضرورة خلط مركبات الامونيوم مع التربة في حالة إضافتها الى التربة الرطبة .

ولم تقتصر الدراسات حول العوامل المؤثرة على تطاير الامونيا بما سبق إن أوضحناه . بل اشار الكثير من الباحثين الى عوامل أخرى منها ما يتعلق بمحتوى

المادة العضوية المضافة ونوعيتها وكذلك ظروف التهوية ووقت إضافة السماد من موعد الزراعة وغيرها والتي لا نتطرق إليها في هذا الفصل .

محتوى التربة من النايتروجين والعوامل المؤثرة عليه

تختلف الترب في محتواها النايتروجيني بسبب إرتباط هذه الكمية بعوامل عديدة يتعلق البعض منها بالظروف البيئية المحيطة وكذلك طبيعة النباتات المزروعة وخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية . ويلخص (Jenny, 1941) العوامل المحددة لمحتوى التربة من النايتروجين (N) بالظروف المناخية (Cl) وطبوغرافية التربة (T) ، الغطاء النباتي (V) ، مادة الاصل (P) وعامل الوقت (t) .. أي أن هذه العوامل وغيرها تمثل الدالة لمحتوى التربة من النايتروجين

$$N = f (Cl, T, V, P, t \dots \dots \text{etc})$$

ولا يمكن النظر لهذه العوامل على انها عوامل مستقلة غير متداخلة بل إن محصلة التداخل لهذه العوامل تحدد بدقة محتوى التربة من النايتروجين . ولقد حاول كثير من الباحثين دراسة اهمية هذه العوامل وكأثت الرغبة في ترتيب هذه العوامل بالتتابع وفقاً لأهميتها . وعلى سبيل المثال كانت نتائج (Jenny, 1930) تشير الى اهمية العوامل المحددة لمحتوى النايتروجين في تربة مزيجية loamy soil على النحو التالي: الظروف المناخية < الغطاء النباتي < الطبوغرافية = المادة الاصل < عامل الوقت .

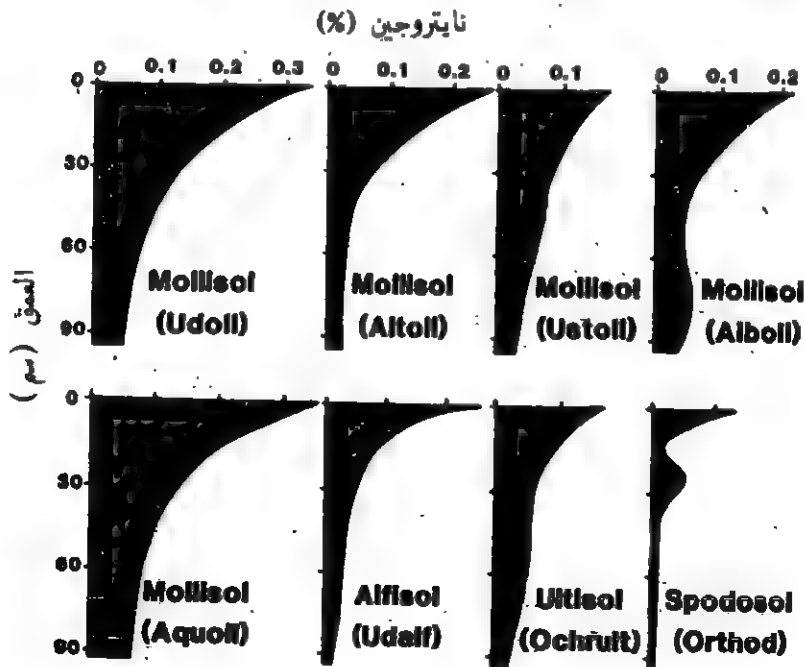
إن اغلب مصادر النايتروجين بالتربة عبارة عن مركبات عضوية ، أما الصور اللاعضوية فإن كمياتها قليلة جداً . ولو إنها من اهم الصور التي يستطيع النبات الاستفادة منها . لقد أشار (Black, 1968) الى أن محتوى المنطقة الجذرية من النايتروجين يتراوح بين 0.02 الى 0.4% . ويمكن ايجاز العوامل التي تحدد محتوى التربة من النايتروجين الكلي كالآتي :

١ - محتوى التربة من المادة العضوية وكمية الغطاء النباتي

يختلف محتوى الترب من المادة العضوية وفقاً لكثافة الغطاء النباتي و يتراكم من مخلفات نباتية أو حيوانية واهياء مجهرية . ووجود المادة العضوية وعمليات تحليلها تعتبر خطوة مهمة لما تساهم به من تحسين لصفات التربة الفيزيائية والكيميائية الا إنه ايضاً يعتبر مصدراً أساسياً للنايتروجين ولجزء كبير من الفسفور

والبوتاسيوم وعناصر غذائية أخرى . إن محتوى المادة العضوية في أي تربة تكون في حالة توازن مع الظروف البيئية أو ظروف التربة المحيطة بها أي بين معدلات إضافة المادة العضوية من المصادر المختلفة النباتية والحيوانية وبين معدلات التحلل بواسطة الاحياء الدقيقة microorganisms . إذ تقوم احياء التربة الدقيقة بتحليل المادة العضوية وأكسدها مساهمة في إنطلاق النايروجين كما إن نشاط هذه الاحياء وفعاليتها يعتمد على عدة عوامل وهي الظروف البيئية وصفات التربة .

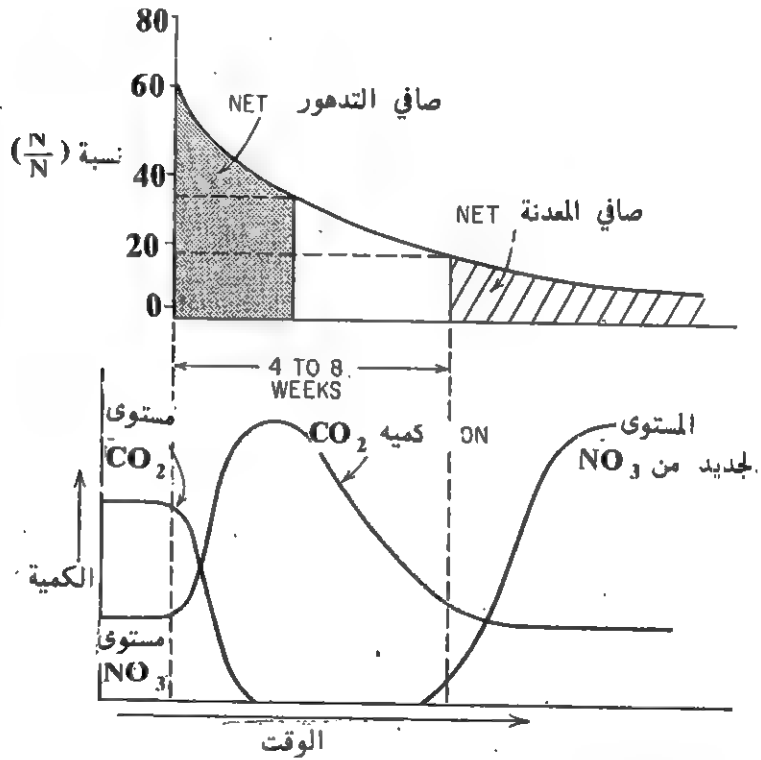
إن معدلات إضافة المادة العضوية في مناطق الغابات والمناطق المزروعة بالشجيرات Shrubs تكون اعلى من المناطق الجافة وشبه الجافة ذات الغطاء النباتي الذي يتميز بشجيرات متفرقة وغوات فصلية للحشائش كما اكد ذلك (Mohr, 1973) ويحدد المناخ انواع النباتات السائدة وكمية الغطاء النباتي الناتج والفعالية الميكروبية لذلك يعتبر العامل الرئيسي في تحديد مستوى المادة العضوية بالتربة لذا يختلف محتوى الترب من النايروجين وفقاً للظروف البيئية السائدة . إن محتوى التربة من النايروجين يرتبط غالباً مع محتواها من المادة العضوية ، ولهذا نجد أن الانخفاض الطبيعي للمادة العضوية مع العمق يعني انخفاض محتواها من النايروجين كلما اتجهنا الى العمق . والشكل (10) يوضح العلاقة في توزيع النايروجين في نماذج ترابية مختلفة مع العمق .



شكل (10) توزيع النايروجين في آفاق نماذج ترابية مختلفة [إستل من

[Stevenson, 1982]

تلعب نسبة الكربون الى النايروجين ($\frac{C}{N}$ ratio) دوراً هاماً في عملية تفسخ المادة العضوية ومعدل انطلاق النايروجين . إذ إن انخفاض قيمة هذه النسبة في محتوى التربة من المادة العضوية يعني إرتفاع معدل تحلل النايروجين العضوي وتحرر مزيد من النايروجين المعدني ، ويمكن القول إنَّ إرتفاع قيمة هذه النسبة يعني العكس إذ تقوم الكائنات الدقيقة التي تقوم بعملية تفسخ المادة العضوية باستخدام معظم النايروجين العضوي في بناء انسجتها مما يؤدي الى عدم وجود إنتاج فائض بالتربة . والشكل (11) يبين العلاقة بين نسبة $\frac{C}{N}$ وحالة التدهور أو المعدنة .



الشكل (11) العلاقة بين معدل معدنة النايروجين ونسبة C/N للمادة العضوية (استل من Tisdale & Nelson 1975)

(2) الظروف المناخية

تعتمد عملية تحلل المادة العضوية على نشاط أحياء التربة ، لذا فإن كمية النايروجين المنطلقة سوف تتأثر بجميع العوامل التي تحدد نشاط الاحياء الدقيقة . فقد وجد (Jenny 1930) أنَّ تأثير درجة الحرارة يتبع قواعد Vant Hoff's أي

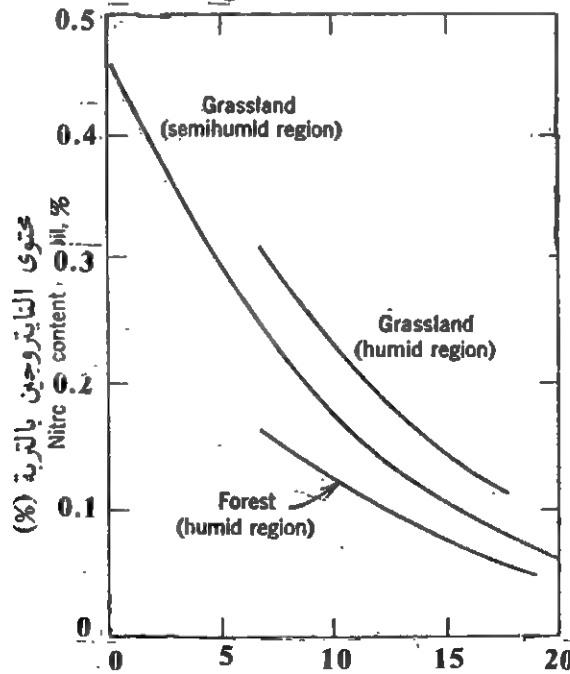
يزداد محتوى التربة من النايروجين من 2-3 مرات لكل انخفاض 10°م في معدل الحرارة السنوي. إن العلاقة الآتية تعبر عن تأثير معدل الحرارة السنوي على محتوى النايروجين الكلي للتربة.

$$N = a / (1 + C \exp^{-kt})$$

إذ أن N هي محتوى النايروجين الكلي بالتربة و t هي معدل الحرارة المثوية السنوي و C و \exp هي اساس اللوغارتم الطبيعي و a ، C ، K ثوابت. كما وجد (Jenny, 1930) ايضاً انه قد تبقى العوامل الاخرى متساوية ولكن محتوى التربة من النايروجين يزداد مع إضافة الماء وعبر عن التأثيرات المشتركة للحرارة وتجهيز الماء من خلال المعادلة الآتية :

$$N = 0.55e^{-0.08T} (1 - e^{-0.005H})$$

وهنا N و t كما وردت في المعادلة السابقة ، T = متوسط درجة الحرارة (°م) ، H = عامل الرطوبة وهي عبارة عن النسبة بين متوسط الساقط بالمليمتر (millimeters) الى كمية بخار الماء المشبعة للهواء بوحدة مليمتر زئبق (millimeter mercury). كما إن المعادلة توضح أن محتوى التربة من النايروجين يقل مع زيادة درجة الحرارة السنوية وقد يصل الى حدود الصفر. وعند اي درجة حرارة فإن محتوى النايروجين يزداد مع زيادة الرطوبة ويصل الى حدود ثابتة عند ارتفاع درجة الحرارة. والشكل (12) يشرح طبيعة العلاقة بين معدل درجة



شكل (12) العلاقة بين محتوى التربة من النايروجين ومعدل درجة الحرارة تحت ظروف بيئية وغطاء نباتي مختلفة (Jenny, 1930).

3- تأثير الطبوغرافية Topography effect

تؤثر الطبوغرافية على محتوى نايتروجين التربة من خلال تأثيرها على المناخ والتعرية السطحية والغطاء النباتي وكذلك النشاط الميكروبي. إن التعرية السطحية الناتجة من كثرة الامطار او الرياح تؤدي الى إزالة الطبقة السطحية والى انخفاض محتوى التربة من النايتروجين. لذا فإن محتوى الترب من النايتروجين يكون مرتفعاً بعد موسم الجفاف. وقد تتجمع المادة العضوية وتتعرقل عملية إطلاق النايتروجين المعدني تحت ظروف رداءة البزل وتجمع المياه في المنخفضات بسبب عرقلة نشاط احياء التربة المحللة للمادة العضوية لسوء التهوية وبالاخص بالمناطق الرطبة بالمقارنة مع ترب المناطق شبه الجافة. إن تحسين ظروف الصرف يعرقل عملية التراكم المستمر على سطح التربة للمادة العضوية ويؤدي الى زيادة الفعالية الميكروبية.

4- مادة الاصل Parent Material

يمكن دراسة تأثير مادة الاصل على محتوى التربة من النايتروجين من خلال دراسة قوام التربة والتركيب المعدني للتربة. ويلعب التركيب المعدني للتربة دوراً هاماً في التأثير على بيئة النبات ونموه وعلى احياء التربة من خلال التأثير على التهوية وحركة الماء وقابلية التربة على الاحتفاظ بالماء. وما يترتب على ذلك من تأثير على خصوبة التربة. بالإضافة الى تأثير حالة التوازن والتداخل بين طبيعة جزئي الطور الصلب - الجزء المعدني والجزء العضوي، إن تأثير حجم دقائق مكونات التربة (قوام التربة) على محتوى التربة من المادة العضوية ماهو الا انعكاس لتأثير خصائص هذه المكونات على محتوى التربة من المادة العضوية، فمن البديهي القول إن الترب ذات القوام الثقيل تحتوي على محتوى مرتفع من المادة العضوية. بالمقارنة مع الترب ذات القوام الخشن مما ينعكس ذلك على محتوى هذه الترب من النايتروجين (جدول 6). ويرجع سبب احتواء الترب الثقيلة على كمية عالية من النايتروجين لقدرة المعادن التي تحتويها هذه الترب على امتصاص الجزيئات العضوية Organic molecules لذا لا بد من القول بأن لنوع معدن الطين تأثيراً كبيراً في تحديد طبيعة الامتصاص فمثلاً تمتلك معادن المونتموريلونايت Montmorillonite سعة امتصاصية عالية للجزيئات العضوية مما يعدها عن نشاط احياء التربة وبذلك تتكدس.

جدول (6) متوسط محتوى النايروجين بالترب مع إختلاف قوام التربة استل من (Black, 1968).

قوام التربة	محتوى التربة من النايروجين (%)
رملية	0.027
رمل ناعم	0.042
مزيجية رملية	0.100
مزيجية	0.188
مزيجية غرينية	0.230

صور النايروجين في التربة Nitrogen forms in Soil

يمكن تقسيم صور النايروجين في التربة الى :

(1) صور عضوية Organic forms

(2) صور معدنية (لاعضوية) Inorganic forms

وتشكل الصور العضوية نسبة عالية جداً (اكثر من 90%) من محتوى التربة من النايروجين بالمقارنة مع الصور المعدنية . وفيما يلي إيضاح لانواع الصور المختلفة الشائعة في التربة .

1- الصور العضوية

يوجد النايروجين العضوي على هيئة مركبات عضوية متعددة أهمها الاحماض الامينية amino acids والبروتينات proteins والسكريات الامينية amino sugars والاحماض النووية nucleic acids ((تشكل الاحماض الامينية حوالي 20-40% من النايروجين الكلي والسكريات الامينية 5-10% حسب ماورد Parsons and Tinsley, 1979 و Stevenson, 1980)) والفيتامينات وغيرها من المعقدات العضوية ذات التركيب غير المتجانس . وكما اوضحنا سابقاً بأن هذه الصور لم يستطع النبات الاستفادة منها الا بعد أن تتحلل بواسطة احياء التربة الى صور معدنية معينة .

2- الصور المعدنية

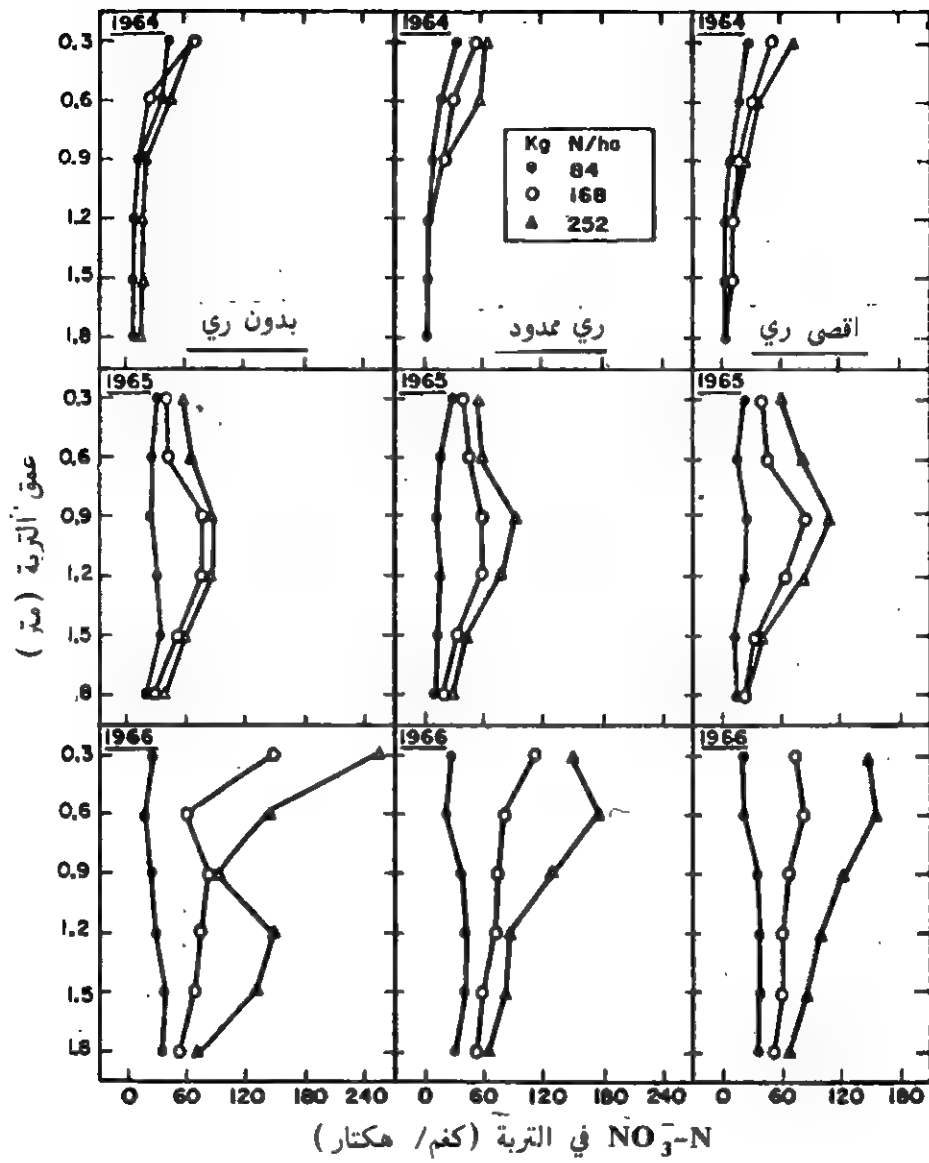
الصور المعدنية التالية : اوكسيد النترك (NO) ، اوكسيد النتروز (N_2O) النتريت (NO_2^-) ، النترات (NO_3^-) ، الامونيوم (NH_4^+) ، هايدروكسيد الامين (NH_2OH) : وصور اخرى تمثل الصور المعدنية السائدة بالتربة . وتعتبر صورة هايدروكسيد الامين hydroxylamine الصورة الوسطية التي تتكون خلال عملية النترجة كما اشار لذلك بعض الباحثين . أما الصور NO_3^- ، NH_4^+ ، NO_2^- فهي مهمة من ناحية خصوبة التربة وتغذية النبات . وجميع هذه الصور تنتج إما من عملية التحلل للمادة العضوية في الظروف الهوائية أو قد تضاف الى التربة ببيئة اسمدة كيميائية معدنية او عضوية . والصور الغازية [N_2O , NO] تتكون في الظروف اللاهوائية في عملية عكس النترجة ، كما إن احتمال فقد هذه الصور الغازية الى الهواء الجوي كبير جداً واستفادة النبات منها معدومة .

ويمكن النظر بأهمية بالغة الى ايون الامونيوم (NH_4^+) وايون النترات (NO_3^-) والنتريت (NO_2^-) من حيث اعتبارها الصور المفضلة التي يمتصها النبات ، وتوجد هذه الصور الثلاث غالباً في محلول التربة وهي تشكل نسبة قد تقل عن 2% من كمية النيتروجين الكلي بالتربة . وسنحاول ايضاح بعض خصائص ايون النترات وايون الامونيوم وميكانيكية امتصاص كل منها ، وسنحاول ايضاً استبعاد ايون النتريت (NO_2^-) وذلك لقلة كمية في محلول التربة لدرجة يصعب قياسها أحياناً .

اولاً : ايون النترات

إنَّ ايون النترات (NO_3^-) ايون سالب الشحنة لذا يصعب امدصاصه adsorption على سطح معادن الطين وذلك لتنافر الشحنة ، مما يسهل عملية غسله وحركته الى الماء الأرضي . وقد يدمص هذا الايون في الترب الحامضية على اسطح الغرويات والاكاسيد الموجبة الشحنة ، وعند غياب هذه المواد يفقد أيضاً الى الطبقات تحت السطحية حيث يتجمع في تلك الطبقات وعند غياب الاوكسجين يحتزل الى صور غازية . وتعتمد كمية ايون النترات التي تفقد بالغسل على العوامل التالية :

- (1) كمية ماء الري وعدد الريات .
- (2) محتوى الترب من الاكاسيد والغرويات الموجبة الشحنة .
- (3) قوام التربة إذ تزداد كمية الفقد بالغسل مع انخفاض محتوى التربة من الطين (جدول 7) .



شكل (13) غسل النترات بعد اضافة سماد نترات الكالسيوم الى سطح تربة رملية مزيجية تحت تأثير كميات مختلفة من الامطار الساقطة.

جدول (7) تأثير محتوى الطين بالتربة على كمية النترات المغسولة في عينات
مزروعة بالرز حسب ماأورده (Enzmann, 1983).

الترية	كمية النترات المغسولة مع احتساب الكمية كنسبة ماء الري (ملغم/ سندان) مئوية	
100% رمل	469.3	100
2/3 رمل + 1/3 طين	266.0	57
1/3 رمل + 2/3 طين	190.4	41
100% طين	150.8	32

تشبيت الامونيوم Ammonium fixation

يتعرض أيون الامونيوم المضاف للتربة أو الناتج من عملية المعدنة الى التشبيت بين طبقات الطين مما يعرقل حركته وقدرته التجهيزية للنبات وتعتبر معادن الطين 1:2 مثل مجموعة معادن الفيرميكوليت Vermiculites والسمكتيت Semectite وتحدد العوامل السابقة ومعدل النترجة محتوى محلول التربة من ايون النترات . وعلى سبيل المثال فقد اكد (Page and Talibudeen, 1977) ان كمية كبيرة من ايون النترات تتجمع في الطبقة السطحية خلال فترة الجفاف وتقل مع ازدياد كميته الامطار الساقطة . وقد يرتفع مستوى محلول التربة من النترات بعد التسميد مباشرة وقد يصل من 20 الى 30 ملي مول (Mengel and Kirkby, 1982) . والشكل (13) يوضح حركة النترات من الاضافة السطحية لسداد نترات الكالسيوم الى تربة رملية مزيجية Sandy loam لم تزرع بمحصول معين إذ أخذت عينات من التربة بعد فترات متعاقبة من سقوط الامطار طبيعياً . درجة الحرارة المنخفضة والمعركة لعملية النترجة وبذلك يقل فقد النايروجين مع ماء الري .

والايت Illite المسؤولة عن عملية التشبيت من خلال دخول ايون الامونيوم للفجوة السداسية المتواجدة في تشكيلة طبقة التتراهيدرا سيليكات التي نصف قطرها 1.35 أنجستروم فقد اشار باحثون كثيرون الى اختلاف قدرة معادن الطين 1:2 المختلفة في تشبيت الامونيوم ، وبشكل عام فإن : الغير ميكوليت > الايت > السمكتيت .

وقد ينظر الى صورة الامونيوم المثبتة بأنها صورة غير قابلة للتبادل الايوني ويمكن أن تتحول الى صورة نترات بعملية النترجة كما أشار الى ذلك (Allison, 1955) الذي وجد أن 8% من الامونيوم المثبتة قد تحولت الى نترات بواسطة

بكتريا النترجة . كما اشار (Kowalenko and Cameron, 1968) الى قابلية النبات على امتصاص كمية لا تزيد عن 25% من الامونيوم المثبت . أما (Scherer and Mengel, 1979) فقد قدر كمية الامونيوم المثبتة في معادن 1:2 بحوالي 3000-2000 كغم نايروجين/ هكتار وإن حوالي 100-300 كغم نايروجين لكل هكتار قد يطلق خلال فترة النمو .

إنّ للمادة العضوية في التربة دوراً كبيراً في زيادة قدرة التربة على تثبيت الامونيوم من خلال إنجذابها الى المجاميع الكربوكسيلية والفينولية المتأينة في الوسط القاعدي كما يوضح ذلك مخطط التفاعل الآتي :

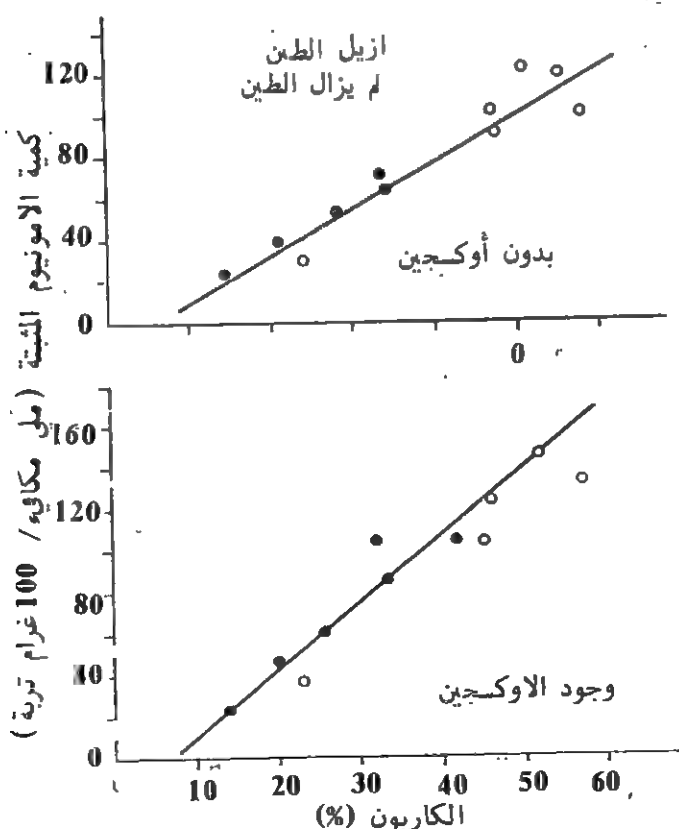


مجاميع فينولية



مجاميع كربوكسيلية

والشكل (14) يمثل العلاقة الخطية بين كمية الامونيوم المثبتة ومحتوى التربة من الكربون العضوي كمؤشر لمحتوى المادة العضوية .

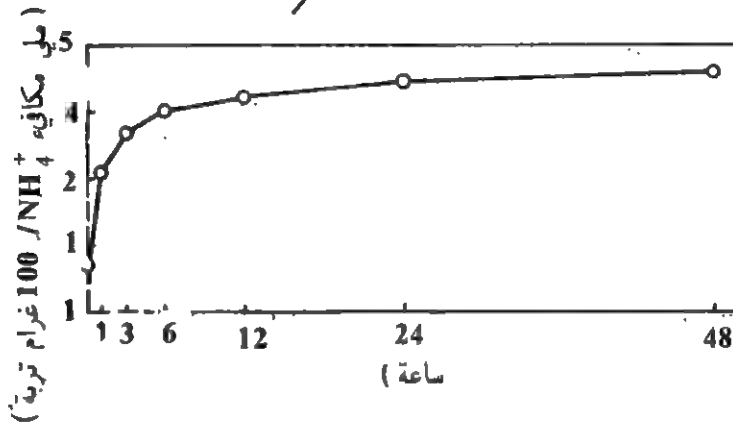


الشكل (14) العلاقة بين محتوى التربة من الكربون والامونيوم المثبت بالتربة بوجود أو غياب الاوكسجين [حسب ماأورده Burge et al 1961] .

وتتأثر عملية تثبيت الامونيوم بعوامل متعددة يمكن ايجازها بالآتي :

1- فترة التفاعل

يرتبط معدل تثبيت الامونيوم ammonium fixation rate بشكل جوهري مع معدل الانتشار الأيوني ، إذ يمكن القول ان تثبيت ايون الامونيوم يكون في اقصاه بعد الفترة المباشرة من اضافة الامونيوم للتربة ويقل معدل التثبيت مع الزمن وصولاً لنقطة الاتزان (Nommik, 1965 ، Sippola et al 1973 ، Dissing-Nselsen, 1971). وكما يوضح الشكل (15) بأن 60 الى 90% من الكمية المثبتة الكلية ثبتت خلال فترة الساعات الاولى بعد الاضافة .



شكل (15) تأثير وقت التفاعل بين كمية الامونيوم المضافة والتربة إذ ان الكمية المضافة تمثل 7.4 ملي مكافئ امونيوم لكل 100 غم تربة (Harada and Kutsuna, 1954).

2- كمية الامونيوم المضافة

من البديهي القول بأن زيادة كمية الامونيوم المضافة تؤدي الى زيادة كمية الامونيوم المثبتة (Black and Waring, 1972, Sowden et al, 1978) ولكن نسبة الامونيوم المثبتة تقل مع زيادة الكمية المثبتة (جدول 8). وقد اشار (Jansson, 1958) الى أن معدل الامونيوم وكميته المثبتة تقل مع زيادة نسبة التربة / الماء Soil/ water ratio المستخدمة في طريقة تقدير كمية الامونيوم المثبتة .

جدول (8) العلاقة بين كمية الامونيوم المضافة والمثبتة في نموذج تربة - المعدن السائد -
معدن الفيوميكوليت * (Nommik, 1957) .

كمية الامونيوم المضافة ملي مكافئ / 100 غم تربة	كمية الامونيوم المثبتة ملي مكافئ / 100 غم تربة	كمية الامونيوم المثبتة % من الكمية المضافة
1	0.83	83
2	1.39	70
5	2.17	43
10	3.18	32
20	3.85	19
40	4.48	11

* نسبة التربة / الماء المستخدمة هي ١ : ١ .

3- التجفيف ودورات الترطيب والتجفيف

إن تجفيف التربة بعد إضافة املاح الامونيوم يؤدي الى زيادة تثبيت ايون الامونيوم وقد يرجع سبب ذلك الى تفاعلين رئيسيين الاول : إن ازالة الماء تؤدي الى زيادة تركيز ايون الأمونيوم في محلول التربة وكذلك كمية الامونيوم المتبادلة والمثبتة والثاني : إن عملية التجفيف تساهم في زيادة قدرة معادن الطين على تثبيت الامونيوم . وقد اشار (Black and Waring, 1972) الا أن تثبيت الامونيوم يزداد بحوالي 3 الى 10 أضعاف بعد التجفيف الهوائي air-drying للعينات الترابية المستخدمة .

إن دورات الترطيب والتجفيف Wetting and drying cycles تساهم في زيادة كمية الامونيوم المثبتة فقد اشار (Jansson, 1958) الى ان كمية الامونيوم المثبتة ارتفعت من 50% عند ظروف الاحتفاظ بالرطوبة الى 63% بعد الدورة الاولى من الترطيب والتجفيف والى 77% بعد ثلاث دورات عند ثبوت درجة الحرارة عند 30°م .

4- نوع معدن الطين السائد

إن قدرة المجاميع المعدنية المختلفة في تثبيت الامونيوم تتحدد من خلال الخصائص العامة للمعدن السائد . ولا بد من التأكيد على مجموعة معادن 1:2 التي لها دور كبير في عملية تثبيت الامونيوم بالتربة وكما سبق إيضاحه فإن هنالك اختلافاً كبيراً ضمن معادن هذه المجموعة في قدرة التثبيت .

5- محتوى مادة التربة العضوية

لقد سبق أن اوضحنا تأثير مادة التربة العضوية وطبيعة المعقدات المتكونة أثر التداخل . ومن اجل مزيد من الايضاح حول هذه النقطة فإن نتائج (Hinman, 1966) تؤكد أنَّ ازالة المادة العضوية بواسطة H_2O_2 أدى الى زيادة تثبيت الامونيوم ، ومن خلال ذلك كان الاستنتاج العام الذي توصل اليه (Hinman, 1966) هو ان زيادة محتوى مادة التربة العضوية يؤدي الى انخفاض كبير في كمية الامونيوم المثبتة . وقد فسر هذا الاستنتاج على اساس كون جزء من مادة التربة العضوية قد يمتص بين طبقات معادن الطين وبذلك يسد منافذ دخول ايون الامونيوم لمواقع التثبيت .

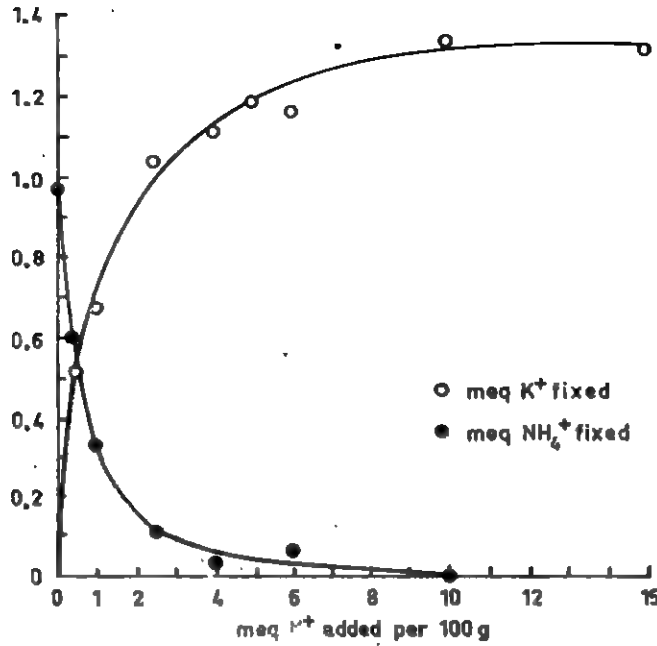
وهذا يعني أن للمادة العضوية تأثيراً مزدوجاً فهو يمتع عملية التثبيت من جهة ويساهم في زيادة التثبيت كما سبق أن اوضحنا من جهة اخرى . ولابد من الاشارة الى النتائج التي توصل اليها (Burge & Broadbent, 1961) وهي ، أن كمية الامونيا المثبتة قد ازدادت مع زيادة محتوى التربة من الكربون العضوي من 14 الى 43% وإن العلاقة بين الاثنين علاقة خطية (شكل 14) وقد أكد (Young, 1964) إن كمية الامونيا المثبتة بواسطة المادة العضوية تتراوح بين 2-28% من كمية الامونيا المثبتة الكلية .

5- محتوى التربة من كربونات الكالسيوم

تقل كمية الامونيوم المثبتة مع أزيداد محتوى التربة من الكربونات الصلبة (كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم) التي تساهم في زيادة تطاير غاز الامونيا . وسنحاول شرح هذه الظاهرة في مكان آخر من هذا الفصل .

6- تأثير الايونات الاخرى

لابد من الاشارة الى تأثير ايونات موجبة أخرى لها القابلية على التثبيت في معادن 1:2 مثل K^+ و Rb^+ و Cs^+ ، ولقد أشار باحثون كثيرون الى إن ايون البوتاسيوم يعمل على عرقلة ميكانيكية تثبيت الامونيوم . ولكن تأثير هذا الايون الموجب يعتمد على وقت إضافته بالنسبة الى اضافة ايون الامونيوم . إن الشكل (16) يؤكد ماورد اعلاه من استنتاج أي أنَّ الاضافة المسبقة للبوتاسيوم تقلل من كمية الامونيوم المثبتة . ولكن إضافة البوتاسيوم بعد اضافة الامونيوم لا يكون لها تأثير واضح على كمية الامونيوم المثبتة . ويوضح الجدول (9) ذلك التأثير



شكل (16) تأثير إضافة مستويات مختلفة من البوتاسيوم على كمية الامونيوم المثبتة من مستوى الاضافة (10 ملي مكافئ امونيوم لكل 100 غرام تربة) علماً بأن فترة التفاعل 30 دقيقة ، حسب ما اورده (Stanford and Pierre, 1947) .

جدول (9) تأثير وقت إضافة البوتاسيوم على كمية الامونيوم المثبتة حسب ماأورده (Jansson, 1958) .

كمية الامونيوم المثبتة (%)	الكمية المضافة ملي مكافئ / 100 غم تربة
42.7	0.714 ملي مكافئ امونيوم (NH_4^+)
50.0	0.714 ملي مكافئ امونيوم + 0.714 ملي مكافئ بوتاسيوم (الاضافة بنفس الوقت معاً)
50.4	0.714 ملي مكافئ امونيوم + 0.714 ملي مكافئ بوتاسيوم (اضيف البوتاسيوم بعد 2 ساعة من اضافة الامونيوم)
28.3	0.714 ملي مكافئ امونيوم + 0.714 ملي مكافئ بوتاسيوم (أضيف البوتاسيوم قبل 2 ساعة من اضافة الامونيوم)

7- تأثير الايون المرافق للأمونيوم

يؤثر الايون السالب المرافق لايون الامونيوم على الكمية المثبتة من الامونيوم . وقد يفسر هذا التأثير احياناً من خلال تأثير الايون على الرقم الهيدروجيني (pH) التربة . أو وفقاً لقاعدة Paneth-Fajans-Hahn التي تشير الى أن القابلية العالية لامتصاص الايونات السالبة تشجع على امدصاص الايونات الموجبة . لذا فإن (Leggett, 1958) أكد صحة الاستنتاج الوارد اعلاه ، بعد أن وجد التأثير الكبير للفسفور على زيادة الكمية المثبتة من الامونيوم .

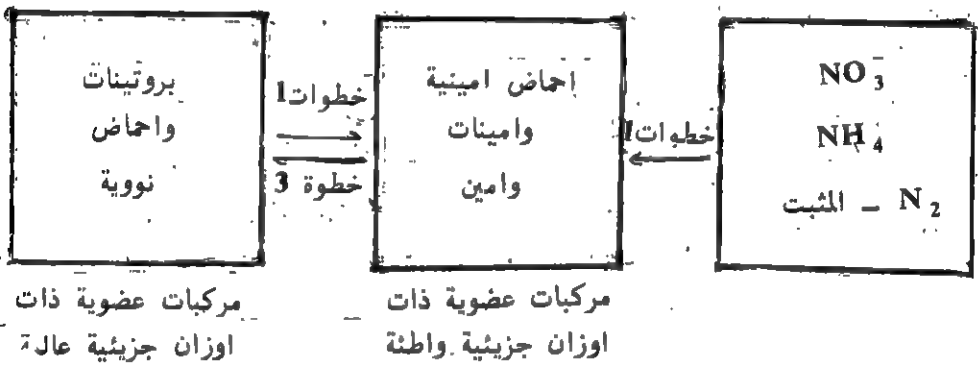
لقد اشار (Allison et al. 1953, Schwertmann, 1966) الى أن جزءاً قليلاً فقط من الامونيوم المثبتة تتعرض بفعل احياء التربة لعملية النترجة . واوضح (Guo et al, 1983) بأن معدل اكسدة الامونيوم المثبتة أبطأ بكثير من الامونيوم المتبادلة . وبهذا يمكن القول إن الامونيوم المثبتة لا تؤدي دوراً كبيراً في تغذية النبات ولكن لابد من ذكر بعض التقارير العلمية التي أشارت الى انطلاق الامونيوم المثبتة خلال موسم النمو ، والنتائج التي توصل اليها (Van Praag et al, 1980) تبين معدل تحرر الامونيوم المثبتة وجاهزيتها للمحاصيل المزروعة (جدول 10) .

جدول (10) تغير محتوى الامونيوم المثبتة خلال فترة نمو محصولي الحنطة والشوفان (Van Praag et al, 1980) .

العمق « سم »	محصول الحنطة حصد عام 1972 ملغم نايروجين / كغم تربة جافة	محصول الشوفان حصد عام 1973 كغم تربة جافة
10-0	80.5	81.4
20-10	89.3	81.4
30-20	92.8	69.1
40-30	104.0	62.5
50-40	110.0	63.9
60-50	115.0	88.1
70-60	127.8	98.0

النايتروجين ونمو النبات

يتمص النبات النايتروجين من محلول التربة إما بصورة ايون الامونيوم وإما بصورة ايون النترات . ويكون تركيز ايون النترات في محلول التربة اكثر من ايون الأمونيوم غالباً . ماعداً في الترب الحامضية التي تمتص مزيداً من ايون النترات ، وحيثاً تتساوى الصورتان ككلتاهما أو تكون السيادة الى ايون الامونيوم . ولا بد إذن من تحديد أفضلية أي من الصور السابقة للمحاصيل الزراعية وعلاقة ذلك بالانتاج الزراعي . ووفقاً للمخطط (شكل 17) الذي أشار اليه (Mengel and Kirkby, 1982) بأن خطوات الامتصاص والاستفادة من النايتروجين تتضمن الامتصاص المباشر لهذه الصورة ثم تحويلها الى احماض امينية amino acids كخطوة وسطية تتحول من خلالها الى مركبات بروتينية يستفيد منها النبات في العمليات الحيوية وتكوين الانسجة المختلفة .

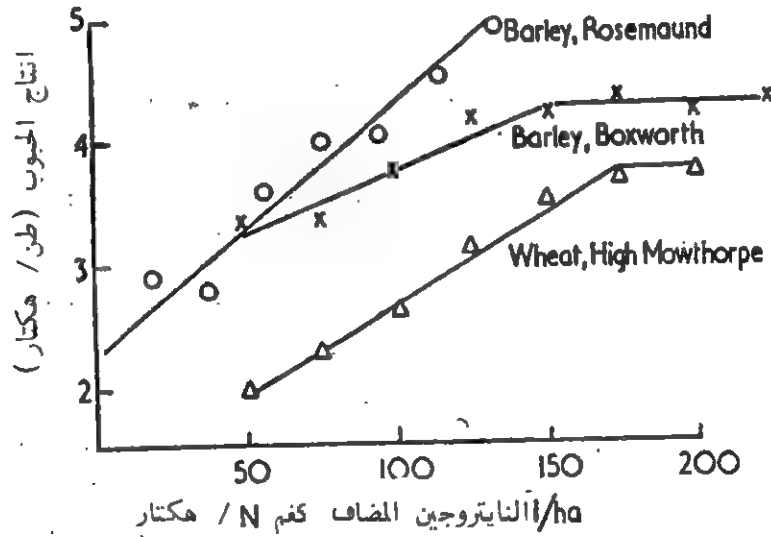


شكل (17) خطوات الامتصاص والاستفادة من صور النايتروجين الممتصة .

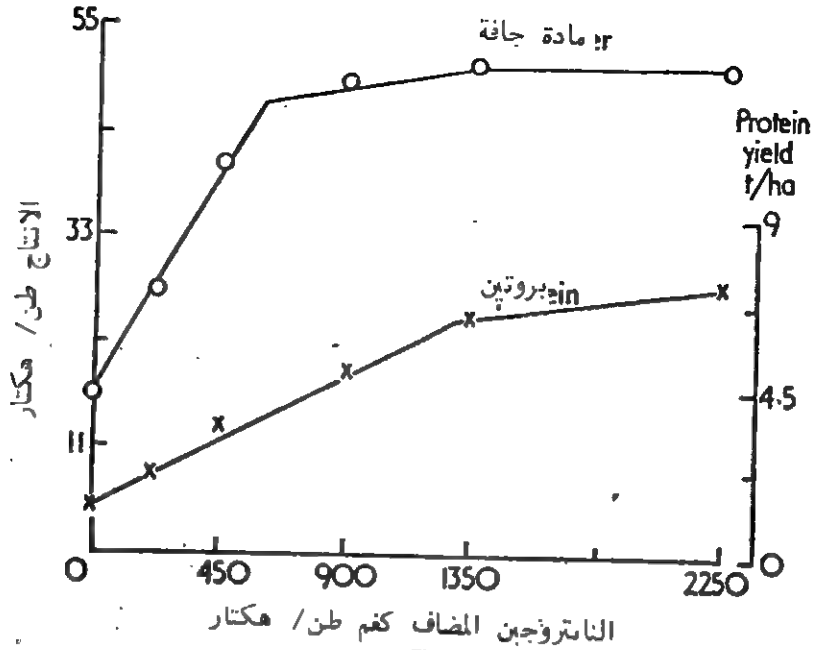
وان زيادة مستوى جاهزية النايتروجين اللازم لتغذية النبات يؤدي الى زيادة الكمية الممتصة وبذلك تزداد كمية المكونات العضوية ولكن بنسب متفاوتة . ويرافق الزيادة في التسميد النايتروجيني غالباً زيادة في كمية الاحماض الامينية الحرة free amino acids والامينات Amines والامايز Amides بنسب عالية جداً بالمقارنة مع زيادة كمية البروتينات . ولكن كنتيجة نهائية ومع تقدم ظروف نمو النبات يزداد محتوى النبات من البروتين وقد تصل نسبته الى 80-85% من محتوى انسجة النبات للنايتروجين الكلي . وقد يصل محتوى النبات من nucleic

acids الى حدود 10% ومن الاحماض النووية الدائبة الى 5% من محتوى النايروجين الكلي في أنسجة النبات . وهذا يؤكد أهمية زيادة محتوى العديد من المحاصيل الحقلية من البروتين من خلال التسميد النايروجيني . وبشكل عام يمكن لقول إن إضافة الاسمدة النايروجينية يؤدي الى زيادة انتاجية المحاصيل الزراعية (شكل 18) وكذلك محتوى البروتيني (شكل 19) . ولكن من الخطأ القول إن هنالك علاقة طردية بين كمية النايروجين المضافة والانتاج الزراعي للمحاصيل بل إن الاحتياج الخاص والقابلية الوراثية في استغلال الصور العضوية النايروجينية المتكونة في زيادة الانتاج الزراعي . وهذا يؤكد أهمية معرفة الحدود الحرجة اللازمة للوصول الى اقصى انتاج maximum yield .

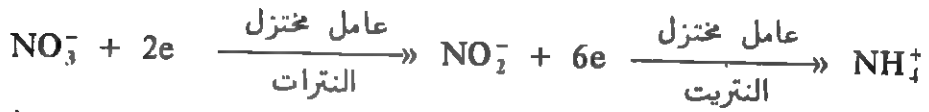
ولابد من الإشارة الى إن عملية تكوين الاحماض الامينية من ايون الامونيوم المتص من قبل أي نبات تختلف عن تلك الخاصة بأيون النترات إذ يجتزل ايون النترات أولاً الى ايون الامونيوم . ويمكن إيضاح هذه الخطوة التي تستهلك طاقة بالمعادلة الآتية :



شكل (18) العلاقة بين انتاج محاصيل الحبوب وكمية النايروجين المضافة (حسب ما أورده IPI, 1970)



شكل (19) العلاقة بين انتاجية المادة الجافة ومحتوى البروتين مع كمية النايتروجين المضافة (حسب ما أورده IPI, 1970).



إن إختزال $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$ يتم بمساعدة عامل مساعد (reducing agent) الا وهو nicotinamide adenine dinucleotide (NADH) الموجود في الساييتوبلازم. إن تكون هذا العامل يستلزم اكسدة الكاربوهيدريت (كلوكوز) إذ ان كل وحدة نترات تختزل ماتستهلك بذلك (8) اليكترون و (8) أيون هايدروجين ويحصل النبات على ذلك من الاكسدة الكاملة لجزيئة الكلوكوز The Complete oxidation of a glucose molecule إذ يتحرر (24) اليكتروناً و (24) هايدروجين. وهذا يعني ان 0.33 مول أو 60 غم من الكلوكوز الناتج من عملية التركيب الضوئي تستهلك لكل-مول نترات (14 غم نايتروجين) يختزل في هذه الخطوة.

أما الخطوة التالية وهي تحويل $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$ فإنها تحتاج الى عامل مساعد آخر الا وهو ferredoxin-nitrite oxidoreductase الذي يوجد في البلاستيدات الخضر Chloroplaste ، وهذه الخطوة تستهلك طاقة ايضاً.

يتعرض ايون الامونيوم الممتص من قبل النبات أو المتكون بعد اختزال النترات الى التحول ليكون مركبات عضوية نايروجينية إذ يختلط مع glutamic acid ليكون glutamine ومن ثم تتكون الاحماض الامينية amino acids والبروتينات .

إن معدل تحول الامونيوم الى مركبات عضوية يكون سريعاً غالباً ، وبذلك تجمع الامونيوم نادراً في خلايا النبات ، وفي الحقيقة ان عرقلة تحول الامونيوم وتجمعه في خلايا النبات يشكل خطراً على نمو النبات . وقد يكون هذا هو السبب في كون بعض النباتات تحتوي على نسبة عالية من ايون NO_3^- بالمقارنة لمحتواها من ايون الامونيوم .

وتختلف القدرة التفضيلية لكل من صورة الامونيوم والنترات للامتصاص من قبل النبات بالعوامل الآتية .

1- نوع النبات

تختلف القابلية التفضيلية للنباتات لصور النايروجين الممتص باختلاف النبات المزروع احياناً . إذ وجد Clarkson & Warner, 1979 أن الحشائش تفصل ايون الامونيوم على ايون النترات ولكن اشار Ansari and Bowling, 1972 الى عكس ذلك بالنسبة الى محصول عباد الشمس ، وقد ايده Rao & Rains, (1976) على ذلك .

2- pH التربة

لقد اشارت معظم المصادر العلمية الى أن ارتفاع قيمة الرقم الهيدروجيني (pH) التربة يؤدي الى زيادة امتصاص ايون الامونيوم وإن انخفاضها يؤدي الى زيادة قابلية امتصاص ايون النترات . والجدول (11) يوضح امتصاص نبات الشعير لصورتى النترات والامونيوم في ظروف pH مختلفة .

وقد فر بعض الباحثين امثال Weissman, 1950, Wallace, 1953 Michael et al 1965, بأن السبب يرجع الى زيادة حالة التنافس بين ايون النترات وايون الهيدروكسيل في الوسط القاعدي التفاعل . كما إن عملية احتزال النترات الى امونيوم تحتاج الى طاقة كما سبق أن اوضحنا ويتحرر ايون الهيدروكسيل الذي يتعادل في الظروف الاعتيادية مع ايون الهيدروجين المرتبط بالاحماض العضوية مكوناً جزئية ماء . وقد أرجع Dijkshoorn, 1962 السبب ايضاً الى تحرر ايون الهيدروكسيل مما يؤدي الى ارتفاع قلوية الوسط ولكن هذا

الايون سرعان ما يتعادل في الظروف الاعتيادية مكوناً جزيئة ماء وبذلك يتعادل الوسط الخلوي للجذر .

جدول (11) تأثير الرقم الهيدروجيني (pH) الوسط على امتصاص ايوني الامونيوم والنترات (Wallace & Mueller, 1957) .

pH.	نسبة مئوية في المادة الجافة	
	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$
3.5	0.040	0.064
5.5	0.045	0.075
8.0	0.036	0.086
L.S.D (0.05)		0.013

إن الزراعة في الترب القلوية تشجع النبات على امتصاص مزيد من ايون الهايدروكسيل الذي سرعان ما يتفاعل مع ايون الهايدروجين المتحرر من الاحماض العضوية مما يفوت الفرصة على أيون الهايدروكسيل المتكون من عملية الاختزال وبذلك يعرقل عملية أختزال النترات وتجمعه داخل النبات وبالتالي تنخفض قابلية النبات على امتصاص هذا الايون .

3- درجة الحرارة

إن انخفاض درجة الحرارة يؤدي الى زيادة كمية الامونيوم الممتصة من قبل النبات بالمقارنة لما يمتص من ايون النترات ، وقد علل Clarkson and Warner 1979 ذلك بالتغيرات الفيزيائية التي تحصل في الجدار الخلوي مما يشجع حركة الايون الموجب الصغير الحجم من خلال الجدار وعرقلة مرور الايون السالب ذي الحجم الكبير .

4- محتوى النبات الكاربوهيدراتي

تفضل المحاصيل الكاربوهيدراتية امتصاص النايروجين على هيئة أمونيوم غالباً وقد اشار Kirkbye & Hughes, 1970 الى أن سبب ذلك يرجع الى قدرة هذه على تزويد عملية تمثيل الامونيوم الى الاحماض العضوية بالطاقة اللازمة دون التأثير الكبير على محتوى المحصول من الكاربوهيدرات . ان امتصاص ايون النترات يؤدي

الى خفض كبير في مخزون المحصول من الكاربوهيدرات لما تستهلكه عملية اختزاله وتمثيله من طاقة . وهالك الكثير من الاستفسارات حول الاحتمالات العلمية والعملية من اضافة اسمدة نايروجينية تحتوي على صورة النترات أو الامونيوم أو الاثنين معاً وعلاقة ذلك بطاقة الأختزال والتمثيل ومحتوى الخزين الكاربوهيدراتي بالنبات ، وسنحاول في هذا الفصل تجنب الاسهاب في مناقشة هذه الاستفسارات .

لقد اشار باحثون كثيرون الى وجود وعلاقة واضحة عند أخذ تأثير عنصر النايروجين بصورة المختلفة على محتوى المحصول من الكاربوهيدرات . فقد اشار Hasegawa et al 1962 الى إن التسميد النايروجيني يقلل من محتوى السكر في اوراق محصول الرز . أما نتائج (Walker et al 1950) الموضحة في جدول (12) فإنها تتفق مع ذلك .

جدول (12) تأثير اضافة النايروجين ببيئة نترات الامونيوم على الانتاج ومحتوى السكر في محصول البنجر السكري (Walker et al 1950) .

النايتروجين المضاف	انتاج البنجر	السكروز	انتاج السكروز
كغم / هكتار	طن متري / هكتار	في البنجر (%)	طن متري / هكتار
0	46	18	8.2
90	54	17	9.0
180	59	16	9.7
269	61	15	9.0

وقد لا يظهر تأثير التسميد النايروجيني على محتوى النبات من الكاربوهيدرات عند مستويات التسميد الواطئة أو المتوسطة . لذا تكون البديهة السائدة ، أن اقصى انتاج من السكر يكون في المستويات الواطئة من التسميد النايروجيني . اذن عندما تكون هناك رغبة في زيادة محتوى اي محصول من الكاربوهيدرات يجب ألا نأخذ بنظر الاعتبار الصورة التي سيضاف عليها النايروجين فحسب بل كميته المضافة أيضاً لما لها من دور هام جداً .

اعراض نقص النايروجين

سنحاول هنا إيضاح اعراض نقص النايروجين وأثر ذلك على الانتاج الزراعي من خلال فهم أهمية هذا العنصر ودوره في مختلف العمليات الحيوية في مراحل النمو . فالنايتروجين عنصر ضروري لنمو النبات إذ يدخل في تكوين البروتينات

وبالاستيدات الخضراء والاحماض النووية وغيرها من التركيبات المكونة لخلايا النبات وأنسجته.. لذا فإن نقص النايروجين يؤثر بشكل جوهري ومباشر على انتاجية المحاصيل ، وتظهر اعراض نقصه الفسيولوجية اولا على الاوراق القديمة . ولا بد من الاشارة الى أنَّ اعراض نقص هذا العنصر بصورة عامة تختلف من نبات الى آخر ويمكن ايجاز ظواهر النقص بالآتي :

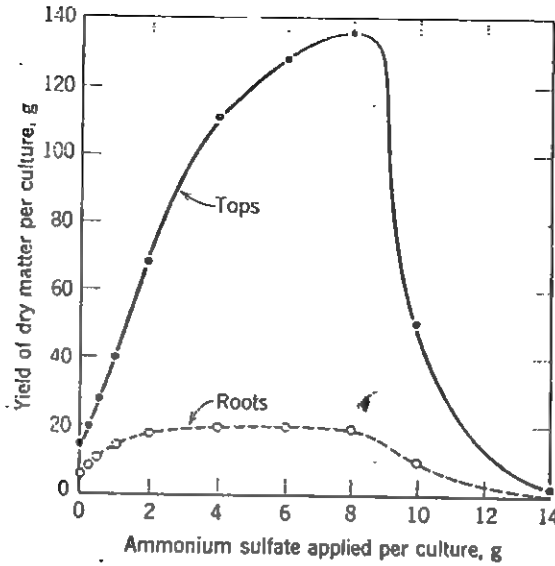
(1) نمو قصير للمحاصيل ، إذ يبقى النبات قصيراً . نحيف الساق ، صغير الاوراق .
(2) يكون الاصفرار هو اللون السائد لعدم قدرة البلاستيدات الخضراء على التطور ، ويظهر هذا اللون في الاوراق القديمة اولا ويغطي جميع الحاء الورقة . وقد تتشابه اعراض النقص المتعلقة باللون لعناصر أخرى مثل الحديد والكالسيوم والكبريت مع اعراض النقص المتعلقة باللون للنايتروجين . ويمكن التمييز بين الحالتين من خلال كون اعراض نقص العناصر الثلاثة السابقة الذكر تظهر اولا على الاوراق الحديثة . وقد لا تكون هنالك اي مدلولات علمية دقيقة للظواهر اللونية في تحديد نقص عنصر النايروجين . ومن اجل الارتقاء الى افضل انتاجية ، فقد اشار (Viets et al, 1954) الى ان جميع اوراق الذرة الصفراء الحاوية على 2.2% نايروجين أو أكثر لا تعاني من اعراض نقص النايروجين المتعلقة باللون وإن زيادة تركيز النايروجين في البتات حتى 2.8% يتبعها غياب اعراض نقص النايروجين المتعلقة باللون رغم كون النبات يعاني من النقص ووجدوا ان المحتوى 2.8% نايروجين قد يكون مناسباً لاعطاء أقصى انتاجية .

(3) تنضج النباتات بسرعة وتكون مدة النمو الخضري قصيرة زمنياً مما ينعكس ذلك سلباً على الانتاجية .

(4) إنَّ محتوى النبات من البروتين ينخفض بشكل عام مع أزدیاد نقص النايروجين ، ويمكن وصف تأثير نقص النايروجين على محاصيل الحبوب بفقر النمو وانخفاض مساحة الاوراق وعدد الحبوب في السنبلة وصغر حجمها وارتفاع محتواها من البروتين بسبب عدم قدرة الكربوهيدرات على الانتقال في مرحلة النمو الاخيرة الخاصة بامتلاء الحبوب .

(5) تمتاز المجموع الجذرية للمحاصيل المزروعة في ترب فقيرة بمحتواها النايروجيني بكثرة تشعبها . وإن نسبة $\frac{\text{الجذور}}{\text{الجزء الخضري}}$ عالية . وهذه النسبة قد تنعكس عند توفر مزيد من النايروجين للامتصاص من قبل النبات (شكل 20) .

أي أن ذلك يعني انه في الترب الغنية بالنايتروجين تكون الجذور قصيرة وسميكة وجيدة التفرع . ويمكن تفسير ذلك في استهلاك الجذر للكمية القليلة من النايروجين الممتص من التربة الفقيرة المحتوى وبذلك تقل الكمية المتحركة من النايروجين للقمّة لكي تتفاعل مع الكربوهيدرات لتكون مزيداً من الخلايا الجديدة



شكل (20) انتاجية الجزء الاعلى **Tops** والجزء الجذري **roots** لمحصول الشوفان المزروع في مزرعة رملية بعد اضافة مستويات مختلفة من سماد كبريتات الامونيوم (Meyer and Storck, 1927) استل من (C.A. Black, 1968).

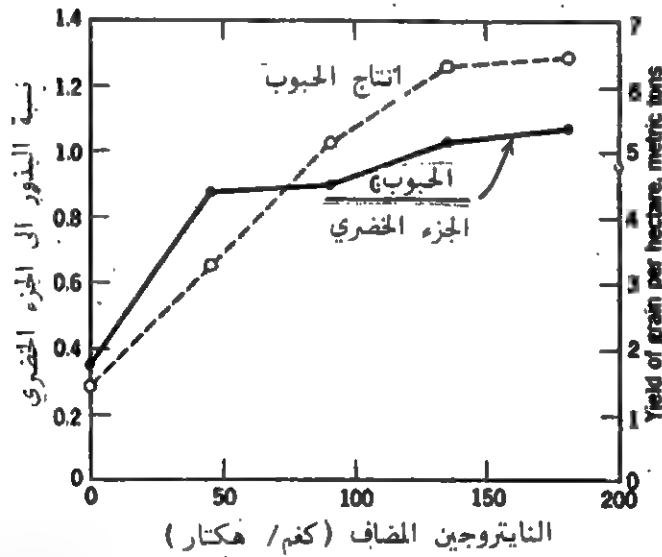
ما يسبب ضعف انتاجية الجزء الخضرى على حسب نمو المجموع الجذري . وقد تساهم هذه الحالة في خلق حركة معاكسة إذ تتحرك الكربوهيدرات من الاوراق الى المجموع الجذري ويتفاعل في موقعه الجديد مع النيتروجين المتص مما يدفع الى مزيد من النمو للمجموع الجذري على حساب النمو الخضرى للاجزاء الأخرى .

إن التسميد النايتروجيني يعكس الحالة إذ يؤدي الى دفع مزيد من النايتروجين الى الاعلى حيث يتفاعل مع الكربوهيدرات ويكون خلايا جديدة تساعد على زيادة النمو والانتاج . والحالة الجديدة ستعرقل حركة مزيد من الكربوهيدرات الى الاسفل (الجذور) وبذلك يقل نمو المجموع الجذري وانتشاره في حين يتشجع النمو الخضرى .

إن مناسبى إيضاحه قد يفسر لنا سبب كون الزيادة غير الطبيعية في التسميد النايتروجيني تفقد الساق سمكه الطبيعي . اي تتكون نباتات ضعيفة السيقان ذات خلايا رقيقة الجدران مما ينعكس ذلك سلبا على الانتاج . اي بعبارة أخرى إن امتصاص النبات لمزيد من النايتروجين يشجعه على نمو الانسجة المختلفة التي تقوم بإنتاج مزيد من الكربوهيدرات الذي سوف يتفاعل مع النايتروجين لتكوين خلايا جديدة وتتممر هذه الحالة مادام النبات يمتص عنصر النايتروجين . ويمكن القول بأن الزيادة غير الطبيعية للتسميد النايتروجيني ستعرقل علبة التوازن بين محتوى

المحصول من البروتين ومحتواه الكاربوهيدراتي مما يؤثر سلباً على الانتاج من خلال تأخير دخول النبات مراحل النضج .

ومن هذا نجد إن زيادة النايروجين للحدود البعيدة عن الاحتياج اللازم لأقصى انتاجية يؤدي الى دفع نباتات البطاطة الى عدم انتاج الثمار كما يؤدي الى دفع محاصيل الحبوب لانتاج محصول بدون حبوب . الشكل (21) يوضح تأثير اضافة مستويات مختلفة من النيتروجين على انتاجية المحصول من الحبوب ولكن هذا لايعني بالضرورة إن زيادة النايروجين الجاهز للنبات يؤدي الى زيادة محتوى النبات من النايروجين بل بالعكس ، ويرجع سبب ذلك الى تأثير التخفيف dilution effect وبذلك ينخفض محتواه البروتيني . إذن يمكن من خلال ماورد سابقاً التأكيد على اهمية تحديد الكمية المناسبة من النايروجين الجاهزة عند الرغبة في الوصول الى اقصى انتاجية مع الأخذ بنظر الاعتبار طبيعة التداخل Interaction بين مدى الاستفادة من الصور النايروجينية والعوامل البيئية المحيطة أو العناصر الغذائية الأخرى الموجودة اصلاً أو المضافة للتربة .



شكل (21) انتاج محصول البذرة الصفراء من الحبوب ونسبة $\frac{\text{الحبوب}}{\text{الاوراق + الساق}}$ مع اختلاف مستوى النايروجين المضاف (استل من Black, 1968) .

الميزان الناييتروجيني Nitrogen balance

من خلال دراستنا لدورة الناييتروجين بالتربة والجو لاحظنا أنَّ صوراً من الناييتروجين المعدني تتحرر من المركبات الناييتروجينية العضوية خلال عملية المعدنة وإن جزءاً منه قد يتدهور من خلال رجوعه مرة ثانية ليكون مركبات ناييتروجينية عضوية . ولقد تعرضت دراستنا للناييتروجين الى مسارات الناييتروجين وسلوكه بالتربة ومايتعرض له من عمليات مختلفة تفقده أحياناً قيمته الغذائية والتجهيزية الآنية أو تكسبه دوراً رئيسياً ومساهماً في عمليات التجهيز الغذائي . لذا كان الاتجاه نحو دراسة الميزان الناييتروجيني الذي يمكن أن يعبر عن محصلة المسارات والتفاعلات المختلفة كالمعدنة والتدهور وامتصاص النبات والغسل والتطاير وعكس النترجة وغيرها التي يتعرض لها الناييتروجين بالتربة وبذلك يمكن حساب الكمية المضافة والمتبقية في أي وقت يختار لذلك .

إن دراسة الميزان الناييتروجيني تعبر وبدقة علمية وعملية عن كفاءة استهلاك الناييتروجين من قبل النبات وحجم الدور لعمليات التحول الكيماوية والبايولوجية السائدة في نظام التربة . لقد اهتم الكثير من الباحثين بدراسة الميزان الناييتروجيني وكان (Lawes et al. 1882) من الاوائل الذين قدروا الميزان الناييتروجيني لحصول الحنطة المزروع في تجربة حقليّة . وسوف نتجنب الإسهاب في هذا الموضوع بالرغم من اهميته وسنكتفي ببعض الامثلة التوضيحية والتجارب العملية .

لقد حدد باحثون كثيرون امثال Fried et al. Cameron et al 1978 ، 1976 ، Meisinger, 1976 ، Pratt et al. 1972 وغيرهم حددوا الميزان الناييتروجيني بما يكفي التعبير عنه من خلال المعادلة الآتية :

الميزان الناييتروجيني = (كمية الناييتروجين الموجودة بالتربة + الكمية المضافة N-inputs) مطروحاً منها كمية الناييتروجين المفقودة من التربة N-Out puts وهذا يعني أنَّ الكمية المضافة N-Inputs تشمل الآتي :

- (أ) كمية الناييتروجين المثبتة بايولوجياً من قبل المحاصيل .
- (ب) كمية الناييتروجين المضافة بهيئة اسمدة كيماوية معدنية أو عضوية .
- (ج) المخلفات النباتية أو الحيوانية المضافة الى التربة ومقدار المعدنة ودورها في زيادة جاهزية الناييتروجين .
- (د) ما يضاف من ناييتروجين مع ماء الري والامطار والمصادر الأخرى التي تساهم في زيادة ناييتروجين التربة مع تحديد الصورة التي يستقر عليها الناييتروجين .

أما الكمية المفقودة من النايروجين N-Outputs فإنها تمثل
 (أ) كمية النايروجين المثبتة بفرويات التربة - المفسولة الى آفاق التربة
 البعيدة عن المنطقة الجذرية - المتطايرة أو المفقودة بصورة غازية .
 (ب) كمية النايروجين المتحولة الى صور عضوية خلال عملية التدهور
 . Immobilization
 (جـ) الكمية المتصة من قبل النبات .

وتختلف مفردات الميزان النايروجيني من تربة الى أخرى وفقاً لخصائصها
 الفيزيائية والكيميائية ، وكذلك فإن للظروف البيئية السائدة دوراً كبيراً في تحديد
 ذلك . وتشير نتائج جدول (13) الى الميزان النايروجيني الكلي Total
 nitrogen balance لتجربة حقلية .

جدول (13) الميزان النايروجيني الكلي لفترة ٤ سنوات (كغم نايروجين لكل
 هكتار) (حسب ماورد Dowdell et al 1984) .

المعاملة السمادية المضافة (كغم N / هكتار)					
أ	ب	ج	د	هـ	
-	320	480	480	480	كمية النايروجين المضافة
40	40	40	40	40	الأسمدة
40	360	520	520	520	الأمطار
					المجموع
210	382	440	493	484	كمية النايروجين المفقودة
346	306	346	263	313	الكمية المتصة من قبل النبات
-	48	99	68	96	المفسولة الى آفاق التربة
556	736	885	824	893	المفقود بعكس النترجة
516	376	365	304	373	المجموع
					الفرق (المفقود - المضاف)

ومن خلال دراسة الميزان النايروجيني يمكن تحديد الكمية الجاهزة من
 النايروجين للنبات في أي مرحلة من مراحل النمو وكذلك حساب الكمية المتبقية
 من السماد المضاف بعد موسم أو أكثر من الزراعة . فقد حدد (Broadbent and
 Carlton, 1978) كمية النايروجين المتبقية بالتربة بعد إنتهاء الموسم الزراعي
 بالمعادلة الآتية :

$$N_{EXIN} = N_F - N_{HC} - N_D + (N_{VA} - N_{OL}) + N_{SON}$$

إذ أن

N_{EXIN} = تمثل كمية النايروجين المتبقية بالتربة

N_F = كمية السماد النايروجيني المضاف

N_{HC} = كمية النايروجين المتصصة من قبل المحصول

N_D = كمية النايروجين المفقودة بعملية عكس النترجة

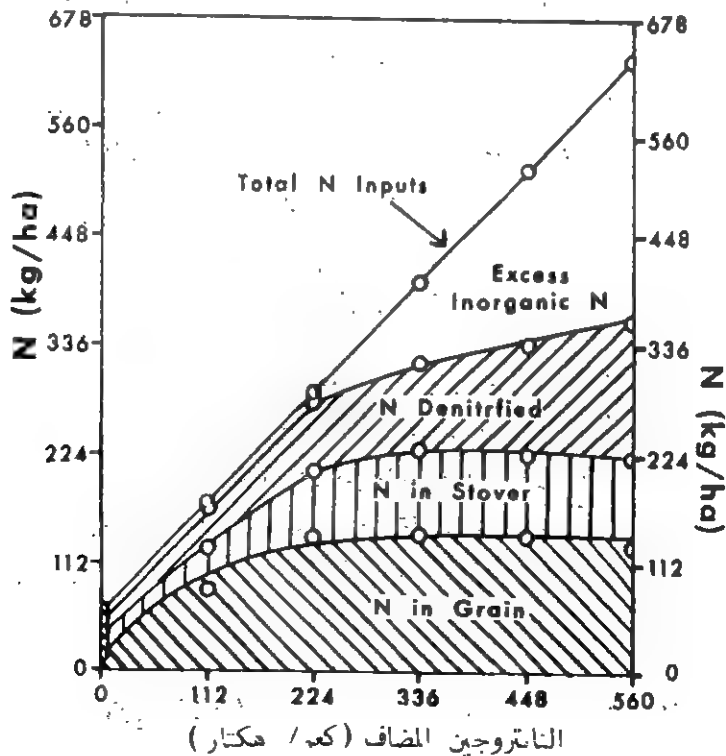
N_{VA} = كمية النايروجين المضافة مع ماء المطر والري ، والنايروجين المثبت بايولوجياً

N_{OL} = كمية النايروجين المفقودة بالتعرية وتطاير النايروجين وغيرها من العمليات الخاصة بالفقد

N_{SON} = كمية النايروجين المتحررة من المصادر العضوية خلال عملية المعدنة

ويوضح الشكل (22) نتائج (Broadbent and Carlton, 1978, 1979)

بعد زراعته محصول الذرة الصفراء فقد استطاع حساب الكمية المتبقية أي الفائض النايروجيني المتجمع بعد الزراعة وعلاقة ذلك بكمية السماد النايروجيني المضافة .



شكل (22) المعدل السنوي لتوزيع الكمية الكلية من النايروجين المضافة الى تربة مزيجية .

الأسمدة النيتروجينية Nitrogen fertilizers

لقد سبق أن أوضحنا أن النبات يمتص النيتروجين إما بصورة أيون امونيوم أو أيون نترات لذا فإن معظم الأسمدة الكيماوية المصنعة تحتوي على إحدى الصورتين أو على كليهما معاً . ولهذا فإننا سنحاول تقسيم الاسمدة النيتروجينية الى خمسة اقسام هي : -

- (1) الأسمدة التي تحتوي على النيتروجين بصورة أيون امونيوم (NH_4^+) .
- (2) الأسمدة التي تحتوي على النيتروجين بصورة أيون النترات (NO_3^-) .
- (3) الأسمدة التي تحتوي على النيتروجين بصورتين هما أيون الامونيوم وايون النترات .
- (4) الأسمدة التي تحتوي على النيتروجين بصورة أميد $-NH_2$ amide .
- (5) مجموعة الأسمدة السائلة .

وسنحاول بإيجاز شرح صناعة الأسمدة النيتروجينية وخصائصها ضمن الأقسام المبينة اعلاه .

أولاً : الأسمدة التي تحتوي على أيون الامونيوم

إن جميع هذه الأسمدة ذائبة بالماء كما إن أيونات الامونيوم المتحررة من هذه الأسمدة تتأكسد بسرعة في الترب المتعادلة neutral soils والترب القليلة الحامضية Slightly acid soils الى أيون النترات . ويختلف تأثير هذه الأسمدة من خلال التأثير الحامضي على خواص التربة . واهم هذه الأسمدة هي :

أ - سماد- كبريتات الامونيوم $(NH_4)_2SO_4$

يحتوي هذا السماد على 21% نيتروجين و 23.4% كبريت . ويحضر هذا السماد من تحضير الامونيا بطريقة هابر - بوش وذلك باستعمال النيتروجين الجوي وهايدروجين الماء ثم يمرر مخلوطاً في خزانات تحتوي على جبس مطحون ثم يمرر غاز ثاني اوكسيد الكربون تحت ضغط قوي مما يؤدي الى تكوين كاربونات الامونيوم $(NH_4)_2CO_3$ ثم تدفع مادة الكاربونات للتفاعل مع الجبس من جديد لينتج كبريتات الامونيوم



يفضل محلول هذا السماد ويرشح ويبخر . ويمكن تحضير هذا السماد من تفاعل الامونيا الناتجة من غازات في صناعة تقطير فحم الكوك مع حامض الكبريتيك



ويفضل تنقية الامونيا من الشوائب قبل الاستعمال .

ب - سماد كلوريد الامونيوم NH_4Cl

يحتوي هذا السماد على 26% نايتروجين ، كما يحتوي هذا السماد على نسبة لا بأس بها من الكلوريد مما يقلل فائدة استعماله في الترب المتأثرة بالاملاح . ويعتبر هذا السماد من الاسمدة الشائعة الاستعمال في اليابان . كما إنه يفضل على سماد كبريتات الامونيوم عند الاضافة للاراضي المزروعة بالرز تجنباً لعملية إختزال الكبريتات وتكوين غاز H_2S السام للنبات . ويحضر هذا السماد من تفاعل كاربونات الامونيوم المحضر بالخطوة السابقة مع كلوريد الصوديوم



ويحتوي هذا السماد على نسبة قليلة من الصوديوم بالاضافة الى محتواه من الكلوريد .

ج - سماد فوسفات احادي الامونيوم $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$

يحتوي هذا السماد على 11% نايتروجين و 21% فسفور ، وسنتناول شرح اسلوب صناعة هذا السماد لاحقاً في الفصل الثالث .

د - سماد فوسفات ثنائي الامونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

يحتوي هذا السماد على 16-21% نايتروجين و 21-23% فسفور وسنتناول اسلوب صناعته لاحقاً في الفصل الثالث .

ثانياً : الاسمدة التي تحتوي على ايون النترات

تكون جميع الاسمدة الحاوية على النايتروجين بصورة أيون النترات ذائبة بالماء . وإن إختيار اي نوع من هذه الاسمدة يعتمد على الأيون المرافق فقد يكون البوتاسيوم أو الكالسيوم أو الصوديوم أو الامونيوم . ولا يفضل اضافة هذه الاسمدة

للثرب المغمورة بالمياه (الاراضي المزروعة بالرز) او الترب التي يكون مصدر الري معتمداً على الامطار وذلك لسهولة غسل ايون النترات . ومن هذه الأسمدة الآتي :

أ - سماد نترات الصوديوم NaNO_3

يحتوي هذا السماد على 16% نايتروجين بصورة ايون النترات و 26% صوديوم ويفضل اضافة هذا السماد الى الأراضي المزروعة بالبنجر السكري غالباً وذلك لسد احتياجات هذا المحصول من أيون الصوديوم بالاضافة الى النايتروجين .

يحضر هذا السماد من الامونيا المحضرة بطريقة هابر - بوش ، ثم تؤكسد هوائياً الى اكاسيد النترات وتمتص هذه الاكاسيد في محلول كاربونات الصوديوم فتتكون نترات الصوديوم التي تتجمع وتبلور .

ب - سماد نترات البوتاسيوم KNO_3

يحتوي هذا السماد على 13.8% نايتروجين و 36.5% بوتاسيوم اي 44% اوكسيد البوتاسيوم (K_2O) . وقد تكتب الصيغة الآتية : 13.8:0:44 للتعبير عن محتوى هذا السماد من النايتروجين والبوتاسيوم إذ يمثل الرقم الاول من اليسار محتوى السماد من النايتروجين ثم يليه محتوى الفسفور بهيئة (P_2O_5) ثم يليه محتوى السماد من البوتاسيوم بهيئة اوكسيد البوتاسيوم .

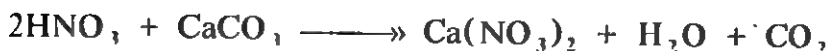
يجهز هذا السماد النبات بعنصري البوتاسيوم والنايتروجين . وهو سماد رخيص الثمن وقد تزايد الطلب عليه في الآونة الأخيرة باعتباره من الأسمدة المفضلة للحدائق .

يحضر هذا السماد من تفاعل نترات الصوديوم مع كلوريد البوتاسيوم



ج - سماد نترات الكالسيوم $\text{Ca(NO}_3)_2$

يحتوي هذا السماد على 15.5% نايتروجين و 19.5% كالسيوم إذ يحضر من اكسدة الامونيا المحضرة بطريقة هابر - بوش وبوجود عامل مساعد ثم يبرد فيتكون حامض النتريك الذي يعامل بحجر الكلس - كاربونات الكالسيوم مكوناً نترات الكالسيوم



يركز المحلول ويبلور ويضاف اليه محلول امونيوم لرفع نسبة النايتروجين لتقليل رجة التميع . وقد يستبدل محلول الامونيوم بنترات الامونيوم بغية الحصول على نسبة نايتروجين اعلى مما كانت عليه بنسبة 5% وبذلك يكون سماداً خاصاً رمزه الكيميائي $5Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O$ و NH_4NO_3 وهو يختلف عن الرمز الكيميائي لسماد نترات الكالسيوم . ويجب مراعاة عدم تعرض هذا السماد للهواء الا عند الاستعمال بسبب قابليته الشديدة في التميع . ويفضل اضافة هذا السماد الى الترب الحامضية بسبب احتوائه على نسبة عالية من الكالسيوم . وتنتج وتستهلك اوريا كمية كبيرة منه .

د - سماد نترات البوتاسيوم - الصوديوم

يحتوي هذا السماد على 15% نايتروجين و 10% بوتاسيوم و 20% صوديوم وهو سماد قليل الاستعمال .

ثالثاً : الاسمدة التي تحتوي على الصورتين صورة الامونيوم وصورة النترات :
إن هذه الاسمدة تجهز الوسط بالصورتين (الامونيوم والنترات) وهي أسمدة دائمة بالماء . واهمها الآتي :

أ - سماد نترات الامونيوم NH_4NO_3

يحتوي هذا السماد على 32-35% نايتروجين وهو سماد يصعب تداوله باليد بسبب كونه سماداً خطراً جداً لذا حاول البعض أن يقلل من خطورته وذلك بخلطه مع الكلس ليصبح اكثر سلامة . ومن خلال خبرة المزارع الاوربي وتجنباً للخطورة فإنه إعتاد خلطه مباشرة بعد الشراء مع الكلس وبذلك يتحقق أمان أولها التقليل من تأثير حموضة السماد وثانيها تجنب الانفجار .

يخضر هذا السماد من تفاعل حامض النتريك مع الامونيا



يعباً هذا السماد باكياس خاصة لا تسمح بنفاذ الرطوبة . ويجب التعامل مع هذا السماد بحذر ولا يفضل اضافة هذا السماد مع السماد العضوي تجنباً للتفاعل المباشر الذي يؤدي الى الانفجار القوي جداً . لذا ينصح ايضا بأبعاد بقايا المخاضيل من مخازن هذا السماد مع وضع احتياطات كاف للاسلاك الكهربائية أو العوامل المشجعة للتسخين وبالأخص في المناطق التي يكون فيها الفلاح لا يتلك الوعي الكافي .

ب - سماد نترات الامونيوم مع الكلس

يحتوي هذا السماد على 20.5% نيتروجين و 0.6% كبريت و 10% اوكسيد الكالسيوم (CaO) وهو عبارة عن سماد نترات الامونيوم المغلف بالدولومايت Dolomite وبذلك تساعد التركيبة الجديدة على معالجة الحموضة الناتجة من عملية النترجة ومن هذا يمكن نقله باليد ويمتاز هذا السماد بحبه الشديد للماء .

رابعاً : الاسمدة التي تحتوي على النيتروجين بصورة أميد Amides

أ - اليوريا $(NH_2)_2CO$

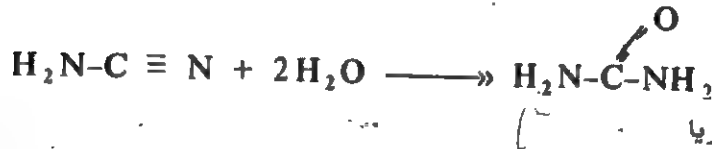
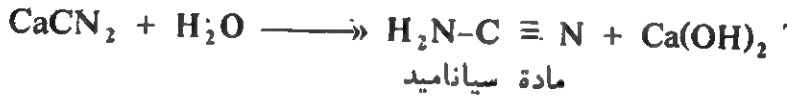
ويطلق عليها Carbamide ، تحتوي اليوريا urea على 46% نيتروجين وهو سماد عالي الذوبان بالماء وشديد التميع لخاصيته العالية لحب الماء . يحضر هذا السماد من معاملة الامونيا مع غاز ثاني اوكسيد الكربون مما يشير الى رخص تكاليف صناعته .



ويحتوي سماد اليوريا على 1.5-2% مادة بيوريت Biuret وهي مادة سامة للنبات . يباع سماد اليوريا في صورة خيبات بيضاء ويستعمل بكثرة في العراق .

ب - سماد سياناميد الكالسيوم $CaCN_2$

يحتوي هذا السماد على 21-22% نيتروجين وهو سماد أخضر اللون كثير الشوائب يتحول بعد إذابته بالماء الى يوريا



ثم تتحلل اليوريا في التربة محررة ايون الامونيوم وثاني اوكسيد الكربون وماء . ويفضل اضافة سماد سياناميد الكالسيوم غالباً الى الترب الحامضية وذلك لانه يؤدي الى رفع pH التربة بسبب تكوين هايدروكسيد الكالسيوم . ويحتاج هذا السماد اثناء تحلله الى كمية عالية من الماء .

يحضر هذا السماد من تفاعل اوكسيد الكالسيوم مع الكربون .



وبعد امرار غاز النايروجين على نواتج التفاعل يتكون :



وبسبب خطورة هذا السماد على النبات النامي يفضل تجنب إضافته بالقرب منه ولهذا السبب قل استعماله في الآونة الاخيرة .

ج - سماد اليوريا المغطاة بالكبريت Sulpher Coated urea

يحتوي هذا السماد على 40% نايروجين و 10% كبريت . ويحتاج هذا السماد الى بكتريا تؤكسد الكبريت لازالة التغليف لتبدأ اليوريا بالتحلل . إن عملية اكسدة الكبريت تساهم بشكل دقيق في تثقيب الغلاف الكبريتي مما يساعد على خروج اليوريا وتحللها .

د - سماد فوسفات - يوريا Phosphate-urea

يحتوي هذا السماد على 17.7% نايروجين و 19.6% فسفور أي مايعادل 44.9% خامس اوكسيد الفوسفوريك (P_2O_5) . يحضر هذا السماد من خلط اليوريا مع حامض الفوسفوريك



هـ - سماد اليوريا - فورمالديهايد Urea-Formaldehyde

تختلف قدرة هذا السماد على الاذابة بالماء على نسبة اليوريا الى نسبة الفورمالديهايد . ويحضر هذا السماد من تفاعل اليوريا مع الفورمالديهايد وهو يحتوي على نسبة لا تقل عن 40% نايروجين . ويمتاز هذا المحتوى النايروجيني بالانطلاق البطيء ليتحرر بصورة جاهزة . وقد يضاف هذا السماد مباشرة الى المحاصيل الزراعية أو قد يخلط مع اضافات محددة من اسمدة نايروجينية أخرى .

خامساً : مجموعة الأسمدة السائلة

أ - الامونيا غير المائية **Anhydrous ammonia**

يحتوي هذا السماد على 82% نيتروجين ويمتاز بهيئة غازية في الظروف الاعتيادية ويتحول بمجرد امرار الماء الى حالة سائلة (محلول نيتروجيني) ويضاف هذا السماد تحت سطح التربة غالباً لتقليل فقد النيتروجين منه ، كما إنه يضاف الى الحشائش على عمق 10-15 سم وإلى المحاصيل الاخرى على عمق 15 سم وينطوي استخدام هذا السماد على مخاطر كبيرة .

ب - الامونيا المائية **Aqueous ammonia**

يحتوي هذا السماد على 21-29% نيتروجين وهو سماد ذائب بالماء في الظروف الطبيعية من حرارة وضغط وهو سهل النقل ويضاف الى الترب الحامضية غالباً . وتختلف ميكانيكية استخدامه بأتحاد الهيدروجين المنطلق من المجاميع الكربوكسيلية ($\text{COOH}-$) ، أو المجاميع الفينولية ($\text{OH}-$) أو مجاميع الهايدوكسيل ($\text{OH}-$) ويكون بذلك ايون الامونيوم الذي يمتصه النبات .

ج - محاليل نيتروجينية

يحضر خليط من نترات الامونيوم واليوريا والامونيا تحت ضغط فيكون بذلك محلولاً نيتروجينياً . يحتوي هذا الخليط على 30-40% نيتروجين ويمتاز بأنه سهل الاستعمال ويضاف مباشرة الى النبات واحياناً يضاف اليه نترات الصوديوم او الكالسيوم . وهناك انواع عديدة تدخل في تكوين المحاليل النيتروجينية المختلفة .

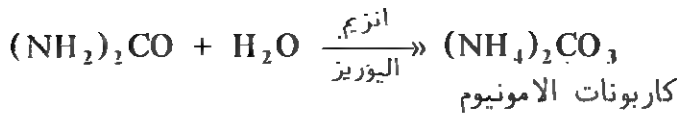
تفاعلات الأسمدة النيتروجينية

سوف نتناول عدداً محدوداً من الاسمدة النيتروجينية في دراستنا ومناقشتنا لمسيرة تفاعلات هذه الاسمدة . وسنحاول التركيز على الاسمدة الشائعة الاستعمال وما تتعرض له بعد اضافتها للترب المختلفة الخصائص .

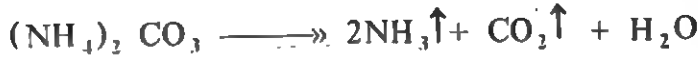
اولاً : تفاعلات سماد اليوريا

يعتبر سماد اليوريا من الاسمدة النيتروجينية العضوية الشائعة الاستعمال التي تحتاج الى إنزيم خاص كعامل مساعد لتحللها لجعل محتواه النيتروجيني جاهزاً للنبات . ويستعمل هذا السماد بكفاءة في مختلف مناطق العراق الجغرافية . لذا سنحاول دراسة مسيرة تفاعلاته بصورة عامة .

يحتاج سماد اليوريا الى وجود انزيم اليوريز **Urease** لكي يساهم في عملية تحلله .



وتعتبر كاربونات الامونيوم مركباً قلماً سريع التحلل محرراً امونيا وثاني اوكسيد الكاربون وماءً



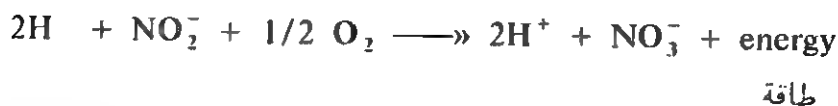
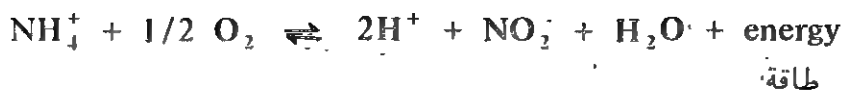
وغالباً ماتذوب الامونيا بالماء لتكون قاعدة وتحرر ايونات الهيدروكسيل :



المحتوى العالي لهذه الترب من الكلس وهذا ما أكدته العديد من الابحاث (Husseini et al 1973; Al-Ani, 1973) ولهذا يمكن القول ان ساد اليوريا قاعدي التفاعل إن لم تتوفر الظروف الخاصة بعملية النترجة وحامضي التفاعل إن توفرت .

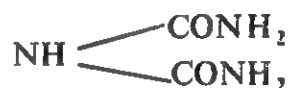
ولا يمكن اعتبار مشاركة انزيم اليوريا كعامل معرقل لتحلل ساد اليوريا بل إن انتشاره الواسع في الطبيعة سهل ذلك . لقد حاول بعض الباحثين امثال (Moe, 1967) إضافة انزيم اليوريا الى الترب فلاحظ زيادة في سرعة عملية تحلل اليوريا وتطايير الامونيا كما لاحظ أيضاً زيادة في سرعة عملية النترجة . كما حاول عدد آخر من الباحثين ايجاد طرق عملية للسيطرة على التحلل السريع لليوريا في الترب ، فقد عالج كل من (Nelson & Hauck, 1965, Parr, 1979) هذه المشكلة بتغليف حبيبات ساد اليوريا بغلاف او غشاء مقاوم للرطوبة أو بتغليفها بالكبريت كما اتجه البعض الآخر لايجاد مركبات تعمل تثبيط فعالية انزيم اليوريا فقد استعمل (Moe, 1967) مركب P-chloromet curibonzoate كمثبط لليوريا ، وبالرغم من ان هذه المادة ادت الى التقليل من تحلل اليوريا وتطايير الامونيا لكنها ثبطت عملية النترجة كلياً . إن جميع هذه الاتجاهات اعطت نتائج جيدة في التقليل من تحلل اليوريا وفقد الامونيا ولكن من المآخذ على هذه الطرق كونها تؤدي الى زيادة كلفة ساد اليوريا أو قد تسبب تأثيرات سلبية على النترجة أو على النباتات .

ولكن سرعان ما يتحول ايون الامونيوم من خلال عملية النترجة مكوناً ايون النترات وقد يرافق هذه العملية انخفاض في pH التربة ويمكن القول بأن انخفاض pH الترب المضاف اليها ساد اليوريا دليل على تكوين النترات أو النترت . وقد يعتمد تأثير حموضة ساد اليوريا على pH التربة وفقاً للقدرة التنظيمية للتربة ، لذا فإن pH للترب العراقية ليس من السهل خفضه بسبب



لقد اشار بعض الباحثين الى إنه من الممكن التقليل من مشاكل استعمال اليوريا كسماد وذلك بأستعمال مشتقات اليوريا الحامضية مثل نترات اليوريا Urea nitrate وفوسفات اليوريا Urea phosphate وكذلك درسوا كفاءة هذه الاسمدة في تجارب حقلية مختلفة فأشارت النتائج الى الكفاءة العالية لسماد فوسفات اليوريا كما لاحظ البعض أنَّ حامض الفوسفوريك المتحرر من هذا السماد يعمل على تقليل التحلل الانزيمي لليوريا بواسطة انزيم اليوريز ، وبذلك يقلل من فقد الامونيا أيضاً . ومن اهم الاعتراضات ضد استعمال اليوريا كسماد هي :

١ - يحتوي سماد اليوريا على مادة البيوريت Biuret التي تتكون نتيجة اتحاد جزيئتين من اليوريا عند ارتفاع درجة حرارة التصنيع الى اعلى من الحدود الاعتيادية



التركيب الكيميائي للبيوريت

وهذه المادة سامة جداً للنبات ، ويزداد تأثيرها مع ارتفاع محتواها في السماد . كما تشير نتائج جدول (13) الى تأثيرها على انتاجية محصول الحنطة (Brage et al 1960). ويجدر التوضيح هنا بأنه غالباً ماتحتوي اليوريا المحضرة صناعياً على كمية تقل عن 1.5-2% .

جدول (13) تأثير محتوى سماد اليوريا من البيوريت Biuret Content على نمو محصول الحنطة الشتوية .

نسبة النمو بالمقارنة مع المعاملة القياسية مع معدل اضافة النايتروجين			نسبة البيوريت	السماد
40	20	10	%	
88.0	101.3	95.6	—	نترات الامونيوم
83.5	81.9	94.2	2.5	نترات الامونيوم
26.7	62.3	80.4	2.5	يوريا
19.9	42.0	60.7	5.0	يوريا
9.1	28.3	41.5	10.0	يوريا

2- تركيز الامونيا

يرافق عملية تحلل اليوريا انطلاق غاز الامونيا . وإن معدل تكوين الامونيا اكبر من سرعة اكسنتها الى نترات أو نترت مما يؤدي الى تراكم الامونيا التي تسبب ضرراً كبيراً على النباتات المزروعة . لذا ينصح بعدم اضافة سماد اليوريا بالقرب من البذور أو جذور النباتات . ولتجنب هذه الحالة يفضل إضافة السماد الى المكان المناسب والبعيد نسبياً أو قبل الزراعة بفترة وجيزة .

3- امتصاص جزيء اليوريا بواسطة جذور النباتات

لقد اشار Court et al 1962 الى أن امتصاص النبات لكمية تصل الى 3% يوريا تؤدي الى تسمم النباتات النامية ويتم ذلك غالباً عندما تبقى اليوريا فترة طويلة دون تحلل ولكن احتمالية حدوث هذا الامر قليل جداً لقدرة اليوريا العالية على التميع .

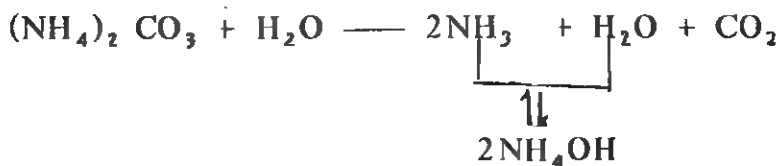
لقد اشارت نتائج أبحاث متعددة الى اضرار اخرى لليوريا ، لا نتطرق اليها تجنباً للأسباب في هذا الموضوع وسنحاول مناقشتها في مكان آخر .

ثانياً - تفاعلات الاسمدة النايروجينية الحاوية على صورة الامونيوم

تتعرض معظم الاسمدة النايروجينية وبالأخص الحاوية على صورة الامونيوم المضافة الى الترب الكلسية الى تفاعلات خاصة تؤدي الى فقد النايروجين بهيئة غاز امونيا . وبالنظر لأهمية صورة الامونيوم للنبات حاول الكثير من الباحثين دراسة هذه الظاهرة ومحاولة الحد منها وتقليل فقدان الامونيا ومن هؤلاء (Fenn & Kissel 1973) الذين درسوا الظاهرة ووضعوا افتراضات عامة للتفاعل تفسرها المعادلة الآتية :



إذ Y تمثل الايون السالب المرافق للامونيوم X, N ترتبط بتكافؤ الانيونات والكايتونات . إن ناتج التفاعل كاربونات الامونيوم $(NH_4)_2 CO_3$ يمتاز بكونه مركباً غير ثابت metastable يتحلل بسرعة الى نواتج اخرى



وتعتمد كمية كاربونات الامونيوم الناتجة على حاصل اذابة ناتج التفاعل الثاني Cay . ولقد سبق أن أوضحنا ذلك بالاضافة لما ذكر من عوامل مؤثرة على ميكانيكية هذا التفاعل .

طريقة وموعد إضافة الاسمدة النيتروجينية

تضاف الاسمدة النيتروجينية للتربة مباشرة وبطرق متعددة وفقاً لطبيعة السباد والظروف المحيطة به وخصائص التربة . ومن الطرق الشائعة خلط السباد مع الطبقة السطحية من التربة أو قد ينثر السباد broadcasting على السطح اما قبل أو بعد الري . ويمكن إضافة الاسمدة النيتروجينية مع ماء الري (اذابة) أو بهيئة التلقيم banding بالقرب من النبات . وقد اشارت بعض الابحاث الى الكفاءة الجيدة في اضافة الاسمدة النيتروجينية بالرش foliar . إن اختيار الطريقة المناسبة يتطلب تحديد نوع السباد المطلوب إضافته وخصائصه الكيميائية والفيزيائية بالاضافة الى خصائص التربة والقدرة الفنية المتوفرة لتنفيذ طريقة الاضافة . وتعزز الطريقة المناسبة زيادة كفاءة الاسمدة من خلال تقليل حالة التدهور والفقد وتوفير الظروف الملائمة لسيادة الصور النيتروجينية المطلوبة في تغذية النبات . ويجب أن تخلق الموازنة الدقيقة لتوفير النيتروجين وبصورة المطلوبة في منطقة انتشار المجموع الجذري .

إن اضافة الاسمدة النيتروجينية يفضل غالباً قبل موعد الزراعة بفترة قصيرة وينطلق هذا من اهمية توفر هذا العنصر منذ بداية موسم النمو لمساهمة في بناء خلايا النبات وأنسجته . بالاضافة الى تجنب البذور والبادرات الصغيرة التركيز العالي من الامونيا أو بعض نواتج عملية النترجة الضارة . وقد تضاف الكمية الكلية من الاسمدة النيتروجينية المطلوب إضافتها بدفعتين ، الاولى قبل أو اثناء موعد الزراعة والثانية يحددها نوع السباد وطول موسم النمو ولكنها غالباً ماتضاف بعد فترة لا تزيد عن شهر على موعد الزراعة . وقد اتجهت عدة دراسات الى تحديد المواعيد المناسبة لاضافة الدفعة السائدة وكميتها وعددها للمحاصيل الزراعية المختلفة النامية في ترب مختلفة الخصائص .

إن طريقة إضافة الاسمدة النيتروجينية وموعدها لا تحدد الكمية المضافة بل إن الأخيرة تعتمد على محتوى التربة من النيتروجين الجاهز أو الكلي (كتعبير عن الكمية الجاهزة) ونوع المحصول وطول موسم النمو والظروف البيئية المحيطة وخصائص التربة والسباد . وبصورة عامة تتراوح الكمية المضافة من الاسمدة النيتروجينية بين 20-200 كغم/ هكتار سنوياً .

قائمة المصادر

- 1- Allison, F.E. (1955) *Ad. Agron.* 7: 213-250.
- 2- Allison, F.E. (1966) *Ad. Agron.* 18: 219-258.
- 3- Allison, F.E.; Sherman, M.S. and Pinck, L.A. (1953) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 17: 107-258.
- 4- Ansari, A. and Bowling, L. (1972) *New Phytol.* 71: 111-117.
- 5- Beck, T. (1983) *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 146: 243-252.
- 6- Bingham, F.T., Chapman, H.D. and Pugh, A.L. (1954) *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18: 305-308.
- 7- Black, C.A. (1968) "Soil-Plant Relationship" 2nd ed. New York.
- 8- Black, A.S. and Waring, S.A. (1972) *Aust. J. Soil Res.* 10: 197-207.
- 9- Brage, et al. (1960) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 199-203.
- 10- Bremner, J.M. (1967) Nitrogenous compounds P. 19-66. In *Soil Biochemistry Inc.*, New York.
- 11- Bremner, J.M. and Shaw, K. (1958) *J. Agric. Sci.* 44: 152-159.
- 12- Broadbent, F.E. and Carlton, C.A.B. (1978) In "nitrogen in the environment" vol. 1. Academic Press.
- 13- ——— and ——— (1979) Methodology for field trials with N^{15} depleted.
- 14- Burge, W.D. (1960) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 292.
- 15- Burge, W.D. and Broadbent, F.E. (1961) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 199-204.
- 16- Cameron, D.R.; Kowalenko, C.G. and Campbell, C.A. (1978) *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 455-457.
- 17- Chao, T.T. and Kroontje, W. (1964) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 393-395.
- 18- Chatt, J. (1976) Nitrogen fixation. Future Prospects Proceedings No. 155 fertilizer Soc. of London.

- 19- Clarkson, D.T. and Warner, A.J. (1979) *Plantphysiol.* 64: 557-561.
- 20- Court, M.N.; Stephen, R.C. and Waild, J.S. (1962) *Nature* 194: 1263-1265.
- 21- Delwiche, C.C. (1970) *The Biosphere-Scientific Amer.*, P. 71-80. Inc. W.H. Freeman, San Francisco.
- 22- Dijkshoorn, W. (1962) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. *Soil Sci. Soc. Am. USA.*
- 23- Dommergues, Y. (1977) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. *Soil Sci. Soc. Am. USA.*
- 24- Duisberg, P.C. and Buchrer, T.F. (1954) *Soil Sci.* 78: 37-49.
- 25- Du Plessis, M.C.F. and Kroontje, W. (1974) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 751-754.
- 26- Enzmann, A. (1983) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. *Soil Sci. Soc. Am. USA.*
- 27- Ernst, J.W. and Massey, H.F. (1960) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 87-92.
- 28- Fenn, L.B. and Escarzago, R. (1976) *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 537-541.
- 29- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1973) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 855-859.
- 30- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1974) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 606-610.
- 31- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1976) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 40: 394-398.
- 32- Firestone, M.K. (1982) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. *Soil Sci. Soc. Am. USA.*
- 33- Focht, D.D. (1978) In *nitrogen in the Environment* P. 433-490.
- 34- Fried, M.; Tonji, K.K. and van De Pol, R.M. (1976) *J. Environ. Qual.* 5: 197-200.

- 35- Gandhi A.P. and Paliwal, (1976) Plant Soil 45: 247-255.
- 36- Gasser, J.K.R. (1964) J. Soil Sci. 15: 258-272.
- 37- Gayan, A. and Dupetit, L. (1886) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Sterenson, 1982 Soil Sci. Soc. Am. USA.
- 38- Hargrove, W.L., Kissel, D.E. and Fenn, L.B. (1977) Agron. J. 69: 473-476.
- 39- Hasegawa, G.; Nishikawa, K.I.; Kogasaki, M. and Suzuki, S. (1962) Rpts. Hyogo Uni. Agr. Ser. Agr. 5. 2: 74-76.
- 40- Hauck, R.D. (1971) In "nitrogen-15 in Soil-plant Studies p. 65-80 vienna.
- 41- Heilman, P. (1975) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39: 778-782.
- 42- Hofman, T. and Lees, H. (1953) Biochem. J. 54: 579-583.
- 43- IPI (1970) In "9th Congress. September 1970.
- 44- Jansson, S.L. (1958) Ann. Roy. Agric. Coll. Sweden.
- 45- Jenny, H. (1930) Missouri Agri. Exp. Sta. Res. Bul. 152.
- 46- Jenny, H. (1941) Factors of Soil formation, McGraw-Hill Book Co., New York.
- 47- Kirkby, E.A. and Hughes, A.D. (1970) In "nitrogen Nutrition of the Plant, Univ. of Leeds.
- 48- Kowalenko, C.G. and Cameron, D.R. (1968) Can. J. Soil Sci. 58: 195-208.
- 49- Kowalenko, C.G. and Cameron, D.R. (1977) Can. J. Soil Sci. 58: 195-205.
- 50- Lawes, J.B., Gilbert, J.H. and Warington, R. (1882) J.R. Agric. Soc. Engl. Ser. 2, 19: 249-179.
- 51- Martin, J.P. and Chapman, H.D. (1951) Soil Sci 71: 25-34.
- 52- Meisinger, J.J. (1976) Search Agric. 6: 1-18.
- 53- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principle of plant Nutrition. Intr: Potash Inst. Bern.
- 54- Meyer, R.D.; Olson, R.A. and Rhoades, H.F. (1961) Agron. J. 53: 241-244.

- 55- Michael, G., Schumacher, H. and Marschner, H. (1965) Z. Pflanzenernähr. Dung. Bodenk. 110: 225-238.
- 56- Mikkelsen, D.S.; De Datta, S.K. and Obeemea, W.N. (1978) Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 725-730.
- 57- Mills, H.A.; Barker, A.V. and Maynard, D.N. (1974) Agron. J.
- 58- Moe, P.G. (1967) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 380-384.
- 59- Munk, H. (1958) Landw. Forsch. 11: 150-156.
- 60- Myers, R.J.K. (1975) Biochem. 7: 83-88.
- 61- Nelson, L.B. and Hauck, R.D. (1965) Agric. Sci. Rev. USDA 3: 38-47.
- 62- Neyra, C.A. and Dobereiner, J. (1977) adv. Agron. 29: 1-38.
- 63- Nommik, H. (1957) Acta Agric. Scand. 7: 395-436.
- 64- Nommik, H. (1965) Agron. 10: 198-258.
- 65- Nommik, H. (1966) Acta. Agric. Scand. 16: 163-178.
- 66- Overrein, L.N. and Moe, P.G. (1967) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 57.
- 67- Page, M.B. and Talibudeen, O. (1977) Plant and Soil 47: 527-540.
- 68- Pratt, P.F., Jones, W.W. & Hunsaken, V.E. (1972) Qual. 1: 97-102.
- 69- Rao, K.P. and Rains, D.W. (1976) Nitrate absorption by barley Plant Physiol. 57: 55-58.
- 70- Russell, E.W. (1973) Conditions & Plant growth, 10th ed. Longman.
- 71- Scherer, H.W. and Mengel, K. (1979) Landw. Forsch. 32: 416-424.
- 72- Schwertmann, A. (1966) Z. Pflanzenern. Dungung Bodenk. 115: 200-209.
- 73- Simpson, D.M. and Milsled, S.W. (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 48.

- 74- Stanford, G. and Pierrer, W.H. (1947) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 155-160.
- 75- Stevenson, F.J. (1980) In "Nitrogen in Agriculture" edited by Stevenson, 1982. Soil Sci. Soc. Am.
- 76- Stevenson, (1982) Nitrogen in Agriculture. Soil Sci. Soc. Am. USA.
- 77- Valera, C.L. and Alexander, M. (1961) Plant and Soil. 15: 268-280.
- 78- Ventura, W.B. and Yoshida, T. (1977) Plant & Soil 46: 521-531.
- 79- Viets, F.G.; Nelson, Jr. C.E. and Crawford, C.L. (1954) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18: 297-301.
- 80- Vlek, P.L.G. and Stumpe, J.M. (1978) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 42: 416-421.
- 81- Volk, G.M. (1959) Agron. J. 51: 746-749.
- 82- Vomel, A. (1965/1966) Z. Acker-U. Rlanzenbau 123: 155-188.
- 83- Wahhab, A., Randhawo, M.S. and Alam. S.Q. (1957) Soil Sci. 84: 249-255.
- 84- Walker, A.C., Hac, L.R., Ulrich, A. & Hills, F.S. (1950) Proc. Am. Soc. Sugar Beet. 6: 362.
- 85- Wallace, A. and Muller, R.T. (1957) Proc. Am. Soc. Hortic. Sci. 69: 183-188.
- 86- Weissman, G.S. (1950) Plant. Physioli. 57: 339-343.
- 87- Wijler, J., and Delwiche, C.C. (1954) Plant Soil 5: 155.
- 88- Young J.L. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 339-345.

الفصل الثالث

الفسفور Phosphorus

يعتبر عنصر الفسفور من العناصر الغذائية الرئيسية macronutrients . ويمتص النبات هذا العنصر لسد احتياجات مختلف العمليات الحيوية مثل عملية التركيب الضوئي وتكوين النوايا وأنقسام الخلايا وتكوين البذور وتنظيم العمليات الخلوية ونقل الصفات الوراثية . كما إن لهذا العنصر دورا رئيسيا في تكوين المركبات الغنية بالطاقة . ويوجد الفسفور في الأنسجة المرستية وينتقل بسهولة داخل النبات لذا فإنه يتحرك من الأنسجة القديمة الى الأنسجة الحديثة في حالة النقص في كمية الفسفور الجاهز للنبات . وعلى الرغم مما تقدم فإن محتوى أي نبات من الفسفور هو أقل من محتواه من النايروجين والبوتاسيوم والكالسيوم . وسنحاول في هذا الفصل دراسة عنصر الفسفور من ناحية صوره ومصادره والعوامل المؤثرة على جاهزيته .

محتوى التربة من الفسفور والعوامل المؤثرة عليه

إن محتوى التربة من الفسفور الكلي total phosphorus قليل جدا كما تشير الى ذلك معظم المراجع العلمية . ويمكن القول أيضا بأن هذا المحتوى يتأثر بعوامل عديدة مثل محتوى التربة من المادة العضوية وخصائص مادة الاصل Parent material ودرجة التجوية degree of weathering لذا فإنه يختلف بملاى واسع من تربة الى أخرى وفقا لتأثير تلك العوامل . فقد وجد Conybeare و Lipman عام 1939 أن معدل محتوى الطبقة السطحية (15) سم لمعظم الترب الأمريكية المزروعة لا يتجاوز 0.06% فسفور . كما أشار (Meison, 1961) الى إن محتوى الترب من الفسفور الكلي لا يتجاوز 0.2% . وفي دراسة المقارنة وجد (Goldschmidt, 1954) أن الترب المشنقة من صخور قاعدية تكون اغنى من

الترب الرسوبية والترب المشتقة من صخور حامضية في محتواها الكلي من الفسفور غالباً. وأوضح (Thompson, 1957) بأن محتوى الفسفور الكلي في ترب المناطق الجافة يتراوح بحدود 0.15%. كما توصل (Bates and Baker, 1960) الى ان محتوى الترب الرملية والطينية بمعدل 0.02% و 0.17% على التوالي في الطبقة السطحية (5) سم وان قيم الفسفور في الطبقة تحت السطحية (51-76) سم كان 0.02% و 0.03% على التوالي. وهذه النتائج تتفق مع (Kaila, 1963) الذي اشار الى أنَّ الطبقة السطحية للتربة تكون عادة غنية في محتواها من الفسفور الكلي مقارنة بالطبقة تحت السطحية وأشار أيضاً الى أنَّ قيم الفسفور الكلي في الترب الرملية والترب الناعمة الطينية والترب المزيجية والترب الغرينية كانت 820 و 890 و 850 و 1050 جزءاً بالمليون. كما أوضح (Walker & Brown, 1966) أنَّ محتوى الفسفور الكلي في التربة يتناسب طردياً مع دقائق الجزء الناعم وايد ذلك (Amer, 1969) في دراسته على مجموعة من عينات مختلفة القوام، إذ وجد أنَّ الفسفور الكلي في الترب الرملية يتراوح بحدود 100 الى 760 جزءاً بالمليون، وفي الترب الكلية calcareous soils يتراوح بين 280 و 1400 جزء بالمليون. أما في الترب الطينية والمزيجية بحدود 780 الى 1400 جزء في الطبقات السطحية. واكد (Thakur et al. 1976) في دراسته على الترب الرسوبية أن ارتفاع محتوى الفسفور الكلي يرجع الى ارتفاع نسبة الطين والمادة العضوية بهذه الترب.

أما الدراسات على الترب العراقية فقد وجد (Abdul-Latif, 1975) ان قيم الفسفور الكلي لخمس عينات من اماكن متفرقة من القطر تراوحت بين 580 الى 855 جزء بالمليون. أما الباحثان (Nouri and Khalili, 1976) فقد اشارا الى أنَّ قيم الفسفور الكلي في عينات اخذت من سهل الرافدين ومنطقة التلوث Foot-Hills ومنطقة الجزيرة هي 106-563، 378-453 و 273-666 على التوالي وهنالك عينات قد وصل فيها محتوى الفسفور الكلي الى حدود 400-1256 جزء بالمليون. كما وجد (عثان، 1981) في دراسته على بعض ترب شمال العراق أنَّ محتواها من الفسفور الكلي يتراوح من متوسط الى غني وتراوحت كمياته بين 366.6 و 720.5 جزء بالمليون وبمعدل قدره 572.39 جزء بالمليون ووجد الباحث أيضاً أنَّ هنالك علاقة معنوية بين قيم الفسفور الكلي ونسبة الطين والمادة العضوية. وعند دراستنا لمحتوى غازج ترابية اخذت من مواقع زراعية متفرقة في محافظة البصرة (Awad, 1982) وجد أنَّ معدل قيم الفسفور الكلي في عينات حقول منطقة الزبير وسفوان الرملية كان 217 جزءاً بالمليون بينما كان معدل عينات حقول أبي الخصيب 650 جزءاً بالمليون.

صور الفسفور في التربة Forms of Soil Phosphorus

يمكن تقسيم صور الفسفور في التربة وبشكل عام الى :

أ - الفسفور المعدني inorganic phosphates

ب - الفسفور العضوي organic phosphates

ومن خلال هذا التقسيم سنحاول التعرف على صور الفسفور في التربة ، وسنبداً أولاً بالصور المعدنية .

أ - صور الفسفور المعدني

يوجد الفسفور بالتربة بصور مختلفة معدنية يمكن تصنيفها على اساس خواصها الفيزيائية والكيميائية والمعدنية mineralogical . وبشكل عام فإن الفسفور بالتربة يوجد على هيئة مركبات تحتوي على الكالسيوم او الالمنيوم او الحديد او الفلور او عناصر أخرى . ولخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية دور كبير في تحديد سيادة هذه المركبات في الترب المختلفة .

إن جميع هذه المركبات قليلة الذوبان بالماء لذا فإن جاهزيتها للنبات محدودة جداً او قد تكون معدومة . وبشكل معدن الأبتايت Apatites الجزء الأكبر من صور الفسفور في الترب المعدنية . وهناك اربعة انواع من الأبتايت وهي :

(1) هايدروكسي ابتايت Hydroxyapatite $Ca_5(PO_4)_3(OH)_2$

(2) فلور أبتايت Fluorapatite $Ca_{10}(PO_4)_6(F)_2$

(3) كلورو ابتايت Chlor apatite $Ca_{10}(PO_4)_6(Cl)_2$

(4) كربونت ابتايت Carbonate apatite $Ca_{10}(PO_4)_6(CO_3)$

وقد اشارت معظم الدراسات الى أن اكثر هذه الانواع شيوعاً هو معدن الهايدروكسي إبتايت ومعدن الفلورو إبتايت .

إن الفسفور الذائب في محلول التربة يمتاز في الترب الكلسية على سطح كربونات الكالسيوم او يتفاعل مع ايون الكالسيوم مكوناً مركبات فوسفات الكالسيوم Calcium phosphates compounds . أما في الترب الحامضية فإن الفسفور يمدص على أسطح أكاسيد الحديد والالمنيوم او يترسب على هيئة مركبات فوسفات الحديد أو الالمنيوم Iron and aluminium phosphates compounds . وسنحاول لاحقاً شرح ميكانيكية تكوين هذه المركبات . ولكن ما يهمنا ذكره الآن هو تحديد نوعية المركبات السائدة في ظل ظروف الترب الكلسية والحامضية . ولا يمكن النظر الى مركبات فوسفات الكالسيوم او فوسفات الحديد أو الالمنيوم على

إنها مركبات مستقرة بل إنها تتأثر بخواص التربة والوقت والظروف الأخرى المحيطة ومما يؤكد ذلك تعدد صور المركبات الفوسفاتية وخصائصها المنتشرة في الترب . ويوضح الجدول (1) بعض المركبات الفوسفاتية الشائعة الانتشار في الترب .

جدول (1) المركبات الفوسفاتية الشائعة الانتشار في الترب (استل من Mengel and Kirkby 1982).

المركب	رمزه
هايدروكسي ابتايت	Hydroxy apatite
فلورو ابتايت	Fluor apatite
فوسفات ثنائي الكالسيوم	Dicalcium phosphate
فوسفات ثلاثي الكالسيوم	Tricalcium phosphate
الفرسكايت	Variscite
السترنكايت	Strengite

ب - صور الفسفور العضوي

يختلف محتوى الترب من الفسفور العضوي إختلافاً شاسعاً إذ يشكل ما بين اقل من 20% الى 80% من الفسفور الكلي بالطبقة السطحية . فقد وجد (Sen Gupta and Corfield, 1962) أن الفسفور العضوي يكون حوالي (14.5%) كمعدل في الترب الكلسية ، وذكر (Kaila, 1963) أن قيم الفسفور العضوي في الطبقات السطحية المزروعة تتراوح ما بين 100-940 جزءاً بالمليون ، بينما وجد (Brogowski, 1966) أن محتوى الفسفور العضوي الموجود في الطبقات الدبالية يمثل (33.4%) من قيم الفسفور الكلي . وبين (Greb and Olsen, 1967) أن الفسفور العضوي بشكل (8-40%) من الفسفور الكلي في الترب الكلسية .

لقد وجد (Amer and Aboul Rooa, 1975) في دراساتهم على ترب مصرية أن قيم الفسفور العضوي تراوحت بين 40-120 جزءاً بالمليون في الترب الطينية المزيحية . وانها تنخفض الى 66.78 جزءاً بالمليون في الترب الرملية . وقد اوضح (Abdul-latif, 1975) في دراسته على ترب عراقية أن الفسفور العضوي يمثل (12-20%) من الفسفور الكلي . ولكن (Jasim, 1978).

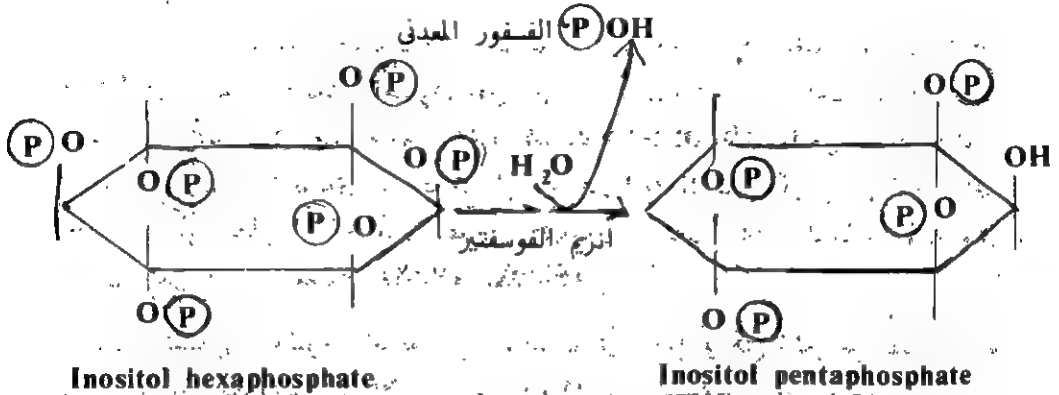
وجد أن نسبة الفسفور العضوي في ترب اسكي - موصل هي بحدود 1.74-11.44% من الفسفور الكلي واكد وجود ارتباط موجب ومؤكد احصائياً مع محتوى المادة العضوية بقيمة ($r=0.47^{**}$) وارتفاع نسبة الفسفور العضوي في الطبقة السطحية عن الطبقة السفلى.

وتتأثر قيم الفسفور العضوي بعدة عوامل ، فلقد وجد (Walker & Adams, 1959) أن محتوى الفسفور العضوي يقل مع ارتفاع درجة حرارة الجو وزيادة كمية الامطار الساقطة . في حين وجد Thompson et al 1954 وآخرون أن محتوى الترب من الفسفور العضوي يزداد مع ارتفاع قيم pH الترب . كما إن زيادة كثافة الغطاء النباتي تقلل من محتوى الفسفور العضوي بسبب زيادة النشاط الميكروبي ومعدل تحلل المادة العضوية (Black, 1968) .

يضم الفسفور العضوي العديد من المركبات في التربة ولكن أكثر من نصف هذه المركبات غير معروف لحد الآن . ومن المركبات الشائعة : Inositol phosphate, phosphoproteins, phospholipids, nucleic acids و Phytin . ويعتبر مركب Inositol phosphate أكثر المركبات إنتشاراً إذ يشكل 30-50% من محتوى الفسفور العضوي الكلي حسب ماأوردته Anderson, 1969 . وتتراوح قيم محتوى phospholipids ما بين 0.5-7% من الفسفور العضوي الكلي . ولا تزيد كمية الفسفور العضوي بالتربة الموجود على هيئة nucleic acids عن 3% .

إن عملية تحول الصور العضوية من الفسفور الى صور معدنية يطلق عليها بالمعدنة mineralization . ولا يعني إضافة أي مادة عضوية للترب أنها تؤدي الى سيادة عملية المعدنة بل قد يكون لعملية التدهور Immobilization تأثير مباشر على معدنة الصور العضوية . ويمكن استخدام نسبة $\frac{C}{P}$ لتحديد الاتجاه السائد بعد إضافة المادة العضوية . فقد وجد أن النسبة 200:1 أو أقل وهذا يعني سيادة عملية المعدنة في حين أن قيم النسبة 300:1 أو أكثر تعني ضياع الفسفور خلال عملية التدهور . ولابد لنا هنا من الإشارة الى استخدام نسبة $\frac{N}{P}$ كدليل جيد لتحديد إتجاه مسيرة الفسفور العضوي بالتربة نحو المعدنة أو التدهور . ولا يمكن النظر الى عملية معدنة الفسفور العضوي وتحرر الفسفور المعدني بأنها عملية سريعة بل قد تأخذ وقتاً طويلاً حتى عند توفر الظروف المناسبة . وتعتمد عملية المعدنة على نشاط احياء التربة وكمية انزيم الفوسفاتيز phosphatase enzyme المنطلق من احياء التربة المتخصصة . (مثل Aspergillus, Penicillium, Mucor, Rhizopus, Bacillus, Pseudomonas) . وجذور النباتات النامية . لذا فإن جميع العوامل (درجة الحرارة والرطوبة والتهوية pH التربة وكثافة

الغطاء النباتي) التي تؤثر على نشاط احياء التربة وبالذات الاحياء المسؤولة عن عملية التخلل تؤثر بدورها على عملية المعدنة بشكل كبير. إن المعادلة الآتية التي (استلت من Mengel & Kirkby, 1982) تبين كيفية انطلاق الفسفور المعدني خلال عملية المعدنة ودور انزيم الفوسفيتاز في ذلك.



ويمكن النظر الى صيغ الفسفور بالتربة من زاوية أخرى عند إدخال الوقت كعامل إضافي في مناقشتنا وكذلك معدل جاهزية الصور المختلفة للنبات إذ تقسم جميع الصور الى ثلاث مجاميع ذات خصائص كيميائية وفيزيوكيميائية محددة وهي:

1- صور الفسفور الذائبة في محلول التربة

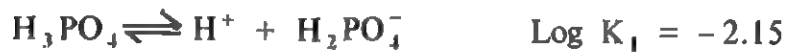
Soluble-P forms in Soil Solution

إن محلول التربة يحتوي على كمية واطئة من الفسفور غالباً وعند المقارنة فإن كمية الفسفور الممدصة على أسطح غرويات التربة المختلفة تكون أعلى بكثير من كمية الفسفور الذائبة غالباً، وقد أكد (Pagel, 1983) أن كمية الفسفور الذائبة في محلول التربة تمثل كمية لا تزيد عن 0.01% من الفسفور الكلي بالتربة. في حين أشار (Mengel and kirkby, 1982) إلا أن كمية الفسفور الممدصة تزداد بما يقارب 10^2 - 10^3 عن كمية الفسفور الذائبة. وقد أشار معظم الباحثين الى أن تركيز الفسفور في محلول التربة يختلف من تربة الى أخرى، فقد يصل تركيز الفسفور في بعض الترب الفقيرة جداً بالفسفور الى 10^{-8} مول (Russell, 1973). بينما وجد (Nelson et al 1953) أن التركيز 10^{-4} مول يمثل مستوى جيد لمحتوى محلول التربة من الفسفور والتركيز 10^{-5} مول (يعادل 0.3 جزء بالمليون فوسفور في محلول التربة) يمثل مستوى متوسط في معظم الترب.

يعتبر الفسفور الذائب في محلول التربة مهماً جداً من ناحية تغذية النبات . فهو اول من يتحرك لسد احتياجات النبات ، لذا فإن دراسة هذا الجزء والعوامل المؤثرة على التركيز يعني دراسة جانب من القدرة التجهيزية للفسفور في التربة . ولا يمكن النظر الى تركيز الفسفور في محلول التربة كدليل دقيق يحدد احتياجات النبات النامي من الفسفور بل إن لنوعية الصور الايونية السائدة دوراً كبيراً ومؤثراً على قدرة النبات في امتصاص هذا العنصر والاستفادة منه . يوجد الفسفور في محلول التربة بهيئة ايونية هي ايون $H_2PO_4^-$ وايون HPO_4^{2-} وايون PO_4^{3-} . وترتبط سيادة أي صور ايونية من هذه الصور بقيمة pH الوسط .

أي إن قيم النسبة $\frac{HPO_4^{2-}}{H_2PO_4^-}$ أو النسبة $\frac{H_2PO_4^-}{PO_4^{3-}}$ يحددها تركيز أيون الهايدروجين في محلول التربة . ويمكن إيضاح هذا الامر من خلال معادلات تحليل حامض الفسفوريك كما يلي :

تعتبر صورة الاورثوفوسفات orthophosphate من اكثر صور الفسفور ثباتاً بالتربة . لذا فإن البدء بمعادلات تحليل حامض الاورثوفوسفوريك orthophosphoric acid يعطي الصورة الدقيقة الواضحة لسلوك الصور الايونية المتحللة من هذا الحامض . فنقطة البداية تمثل التفاعل الآتي :



أي إن

$$\frac{(H^+) (H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = K$$

$$\frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = \frac{K_1}{(H^+)}$$

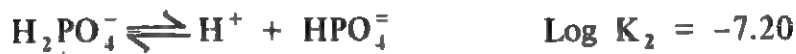
وهذا يعني العلاقة العكسية بين تركيز ايون الهايدروجين وتركيز ايون $(H_2PO_4^-)$. وعند pH = 2.15 فإن النسبة ستساوي واحداً .

$$\frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = 1$$

أي يتساوى تركيز الحامض (H_3PO_4) مع تركيز ايون ($H_2PO_4^-$) عند $pH = 2.15$ ، وتكون السيادة الى الحامض عند قيم pH أقل من 2.15 . ويمكن رضع المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log} \frac{(H_2PO_4^-)}{(H_3PO_4)} = pH - 2.15$$

وهذا يعني أن زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي إلى زيادة النسبة $\frac{(H_2PO_4^-)}{(HPO_4^{2-})}$ بمقدار عشرة اضعاف ، أي ستكون السيادة بعد $pH = 2.15$ الى ايون ($H_2PO_4^-$) ، وفي نفس الوقت يبدأ هذا الايون بالتحلل مع ارتفاع pH المتوسط كما في المعادلة التالية :



أي إن

$$\frac{(H^+) (HPO_4^{2-})}{(H_2PO_4^-)} = K_2$$

$$\frac{(HPO_4^{2-})}{(H_2PO_4^-)} = \frac{K_2}{(H^+)}$$

وعند $pH = 7.2$ فإن النسبة ستساوي واحداً :

$$\frac{(HPO_4^{2-})}{(H_2PO_4^-)} = 1$$

أي يتساوي تركيز ايون ($H_2PO_4^-$) مع تركيز ايون (HPO_4^{2-}) عند $pH = 7.2$ ، وتكون السيادة الى أيون ($H_2PO_4^-$) عند قيم pH أقل من 7.2 . ويمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log} \frac{(HPO_4^{2-})}{(H_2PO_4^-)} = pH - 7.2$$

وهذا يعني أنَّ زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة (HPO_4^{2-}) بمقدار عشرة أضعاف ، أي ستكون السيادة بعد $\text{pH} = 7.2$ الى أيون $(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$ ، وفي نفس الوقت يبدأ هذا الايون بالتحلل مع ارتفاع pH الوسط كما في المعادلة الآتية :



أي أنَّ

$$\frac{(\text{H}^+) (\text{PO}_4^{3-})}{(\text{HPO}_4^{2-})} = K_3$$

$$\frac{(\text{PO}_4^{3-})}{(\text{HPO}_4^{2-})} = \frac{K_3}{(\text{H}^+)}$$

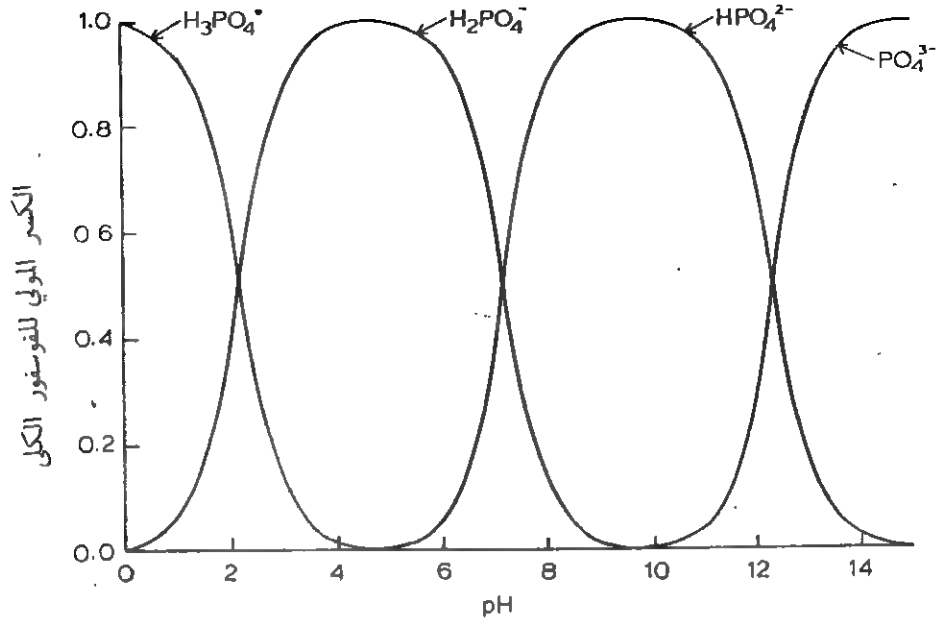
وعند $\text{pH} = 12.35$ فإن النسبة ستساوي واحداً

$$\frac{(\text{PO}_4^{3-})}{(\text{HPO}_4^{2-})} = 1$$

أي يتساوى تركيز أيون (PO_4^{3-}) مع تركيز أيون (HPO_4^{2-}) عند $\text{pH} = 12.35$ وتكون السيادة الى أيون (HPO_4^{2-}) عند قيم pH أقل من 12.35 : ويمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي :

$$\text{Log } \frac{(\text{PO}_4^{3-})}{(\text{HPO}_4^{2-})} = \text{pH} - 12.35$$

وهذا يعني أنَّ زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة النسبة $\frac{(\text{PO}_4^{3-})}{(\text{HPO}_4^{2-})}$ بمقدار عشرة أضعاف ، أي ستكون السيادة بعد $\text{pH} = 12.35$ الى أيون (PO_4^{3-}) . ومن خلال ماتقدم فإن صور الاورثوفوسفات السائدة في الترب الزراعية ذات مدى pH يتراوح بين 4.5 الى 8.5 هي أيون H_2PO_4^- و HPO_4^{2-} . والشكل (1) يوضح علاقة هذه الصور مع بعضها في ظروف pH مختلفة .



الشكل (1) تأثير قيمة pH الوسط على توزيع ايونات الأورثوفوسفات في المحلول (استل من (Lindsay, 1979

لا بد لنا بعد هذا الايضاح حول توزيع ايونات الاورثوفوسفات في محلول التربة وعلاقتها مع قيم الـ pH المختلفة من الرجوع مرة أخرى الى علاقة هذه الصور بتغذية النبات. فالنبات يمتص الفسفور مباشرة من محلول التربة إما بصورة ايون $H_2PO_4^-$ واما بصورة ايون HPO_4^{2-} .

وتفضل النباتات امتصاص الفسفور غالباً بصورة ايون $H_2PO_4^-$ ، كما إن معدل امتصاصه اسرع بالمقارنة مع معدل امتصاص ايون HPO_4^{2-} . وسنحاول في مكان آخر من هذا الفصل الرجوع مرة ثانية لمناقشة عملية امتصاص النبات للفسفور وتأثير نوع الصورة وتركيزها في المحلول على ذلك.

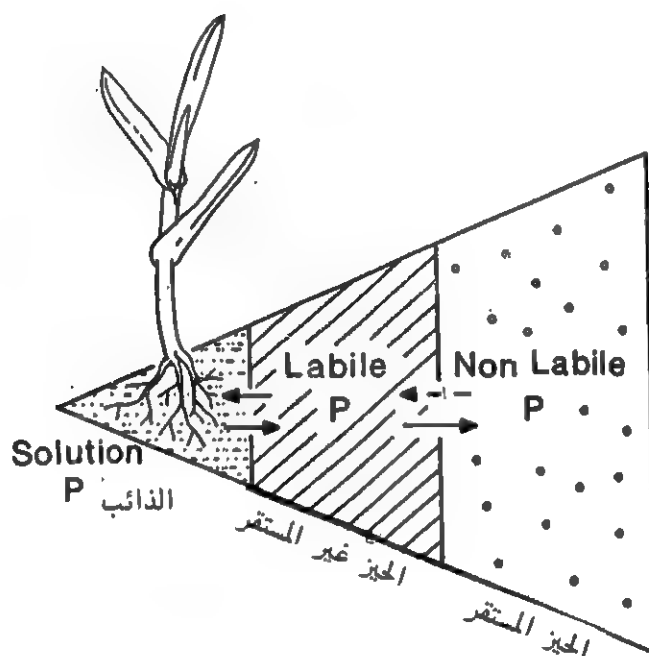
2- صور الفسفور في المستودع غير المستقر

P-forms in the labile pool

تتمثل صور الفسفور المتجمعة ضمن هذه المجموعة الفسفور المدص adsorption على اسطح غرويات التربة أو المترسب حديثاً بهيئة مركبات فوسفات الكالسيوم أو الحديد أو الألمنيوم التي تمتلك اذابة عالية بالمقارنة مع المركبات

القليلة الذوبان كالاتيت . وقد اشار (Pagel, 1983) الى أن كمية الفسفور في هذا المستودع تشكل حوالي 2% من كمية الفسفور الكلي . وتختلف من تربة الى أخرى وفقاً لتوفر العوامل المساهمة في زيادة قدرة التربة الامدصاصية (مثلاً محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم أو الاكاسيد الحرة أو انواع محددة من معادن الطين وغيرها) .

ولا يمكن النظر الى هذا المستودع بأنه حالة مستقلة ومنعزلة عن المجاميع الفوسفاتية الأخرى كصور الفسفور مثلاً في محلول التربة . بل يترتبط ما في هذا المستودع مع غيره بحالة من الاتزان الكيميائي (الشكل 2) .



الشكل (2) اجزاء الفسفور بالتربة وعلاقتها بتغذية النبات (استل من Mengel and Kirkby, 1982) .

فقد تتحول صور الفسفور الايونية من محلول التربة مع الوقت الى حالة تقع ضمن المستودع غير المستقر كأن يترسب الفسفور بتفاعله مع أيونات الكالسيوم أو الحديد أو الألمنيوم الذائبة في محلول التربة لتكوين مركبات حديثة التكوين . أو قد يمدص على اسطح الفرويات أو قد ينطلق الفسفور المتجمع في المستودع غير المستقر خلال عملية الانطلاق desorption نتيجة التبادل الانيني . ويمكن النظر بأهمية الى طبيعة الاتزان بين عمليتي الامـدصاص Adsorption-desorption - والانصلاق لأنه يمكن من خلاله تحديد حجم هذا المستودع

بالإضافة الى العلاقة الاتزانة مع محلول التربة . ويؤدي الفسفور في هذا الحيز دوراً كبيراً في تغذية النبات فهو المستودع الذي يجهز محلول التربة باستمرار بعد نفاذ محتواه . ومن أجل إلقاء الضوء على أهمية هذا المستودع فإن ملاحظته Munk (1981) من أن كمية الفسفور الممتصة من قبل النبات النامي خلال عشرين يوماً فقط يزيد من (500) مرة عن المحتوى الموجود في محلول التربة مما يؤكد إنطلاق الفسفور وبشكل تدريجي من هذا المستودع ليجز جذور النبات . والأجدر هنا بالذكر إن قدرة الفسفور بالبقاء على حالته في هذا المستودع يحددها الوقت وخصائص التربة الفيزيوكيميائية والظروف البيئية المحيطة . وغالباً ماتتحول الصور المختلفة مع الوقت وبصورة تدريجية الى صور أخرى أقل ذوباناً وجاهزية تقع ضمن المستودع المستقر .

3- صور الفسفور في المستودع المستقر

P-forms in the non-labile pool

تتجمع ضمن هذا المستودع صور مختلفة قليلة الذوبان والجاهزية للنبات ويعتبر معدن الاتبايت من اهم صور هذا المستودع بالإضافة الى صور الفرسكايت Varscite والسترنكايت Strengite وصور الفسفور العضوي المختلفة والبطيئة التحلل . ويشكل الفسفور ضمن هذا المستودع اكثر من 97% من الفسفور الكلي . ولا يمكن إلغاء دور جميع هذه الصور في تغذية النبات فهي بحالة إتران مع صور المستودع غير المستقر رغم كون ماتدفعه الى ذلك الحيز من فسفور يحتاج الى ظروف خاصة كتوفر احياء تربة متخصصة لكي تساهم في معدنة الصور العضوية أو خلق ظروف مشجعة لاذابة المركبات الصلبة المختلفة .

ومن أجل إيضاح طبيعة الارتباط بين المجاميع الثلاث السابقة الذكر دعنا نفترض إضافة سماد فوسفاتي معين الى التربة فسنجد أن قسماً منه سيبقى في محلول التربة والقسم الاكبر المتبقي يتحرك الى المستودع غير المستقر . ولا يمكن التفكير في هذه المرحلة بمحركة أي كمية للمستودع المستقر . وتعتمد الكمية الذائبة في محلول التربة والكمية المتبقية في المستودع غير المستقر على عوامل عديدة ويلعب الوقت بالإضافة الى خصائص التربة الفيزيوكيميائية دوراً كبيراً في سرعة حركة الفسفور الى المستودع المستقر .

يتعرض الفوسفور المضاف للتربة الى تفاعلات خاصة تؤدي الى تحوله الى صور غير جاهزة يطلق عليها بالصور المثبتة ومن خلال الدراسات التي قام بها عدد كبير من الباحثين وجد أن حوالي 20-30% من الكمية المضافة تستغل من قبل النبات خلال السنة الاولى ، أما الكمية المتبقية فيمكن اعتبارها صور غير جاهزة في اغلب الاحوال . لذا فإن دراسة إيس تثبيت الفوسفور مع تغير خصائص الترب سيساعد على زيادة المعرفة الخاصة برفع كفاءة التسميد الفوسفاتي مما يكون لهذه الحالة مدلولات اقتصادية خاصة .

وتشمل عملية تثبيت الفوسفات التفاعلات الاتية :

Phosphate adsorption

١ - امدصاص الفوسفات

يقصد بالامدصاص الأيوني حركة العنصر من محلول التربة الى سطح معقد التربة دون التفاعل المباشر معه وبدون الأختراق لسطحه ليس كما يحصل في عملية تثبيت أيون الامونيوم . ويمدص الفسفور نوعياً Specific adsorption اي إن الكمية الممدصة لا يمكن إعادتها أو أرجاعها مرة ثانية الى محلول التربة وفقاً لأسس وقواعد التبادل الأيوني بل وفقاً لحالات خاصة ومن خلال عملية الانطلاق desorption . وتوصف عملية الامدصاص النوعي بواسطة معادلات خاصة تبين علاقة التوازن بين الفسفور الممدص على السطح والذائب في محلول التربة . فقد استخدم Watanabe (1957, Olsen) معادلة لانجوميير langmuir (التي صممت خصيصاً لوصف امدصاص الغازات على الأسطح) في دراسة امدصاص الايونات على السطح :

$$X = Kbc / (1 + kc)$$

إذ إن X تمثل الكمية الممدصة لكل وحدة وزن تربة ، C عبارة عن التركيز للايون بعد الأتزان ، K عبارة عن طاقة الربط للايون بالسطح في حين b يمثل أقصى حد امدصاصي عند وصول حالة الامدصاص لتمثل طبقة واحدة Monolayer . ومن أجل حساب قيمة الثوابت k و b نحول هذه المعادلة الى معادلة خطية وفقاً للآتي :

$$\frac{C}{X} = \frac{1}{Kb} + \frac{C}{b}$$

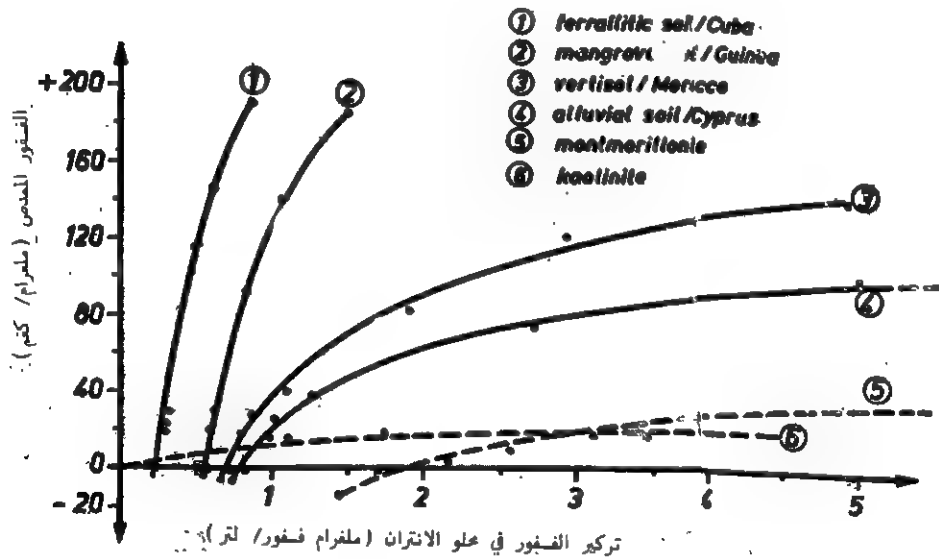
أو

$$\frac{1}{X} = \frac{1}{b} + \frac{1}{Kbc}$$

ومن خلال رسم العلاقة بين $\frac{C}{X}$ و C أو $\frac{1}{X}$ و $\frac{1}{C}$ يمكن حساب قيم

الثوابت (راجع كتاب مبادئ كيمياء التربة - المرحلة الثالثة). وتختلف قدرة الترب الامدصاصية وفقاً لاختلاف خصائصها الكيماوية والفيزيائية. فقد اشار (Pagel, 1983) الى العلاقة بين تركيز الفسفور بعد الاتزان في محلول التربة والكمية الممتصة في ترب مختلفة (الشكل - 3) والتي تؤكد أن قدرة التربة على الامدصاص تتفاوت وفقاً لخصائصها، وإن قلة الامدصاص يعني زيادة التركيز في المحلول والعكس صحيح ايضاً.

سنحاول ايضاح عملية امدصاص الفسفور بفرويات التربة المختلفة كالآتي:



الشكل (3) العلاقة بين كمية الفسفور الممتصة في ترب مختلفة والتركيز بعد الاتزان

أ - الامدصاص النوعي بواسطة كاربونات الكالسيوم

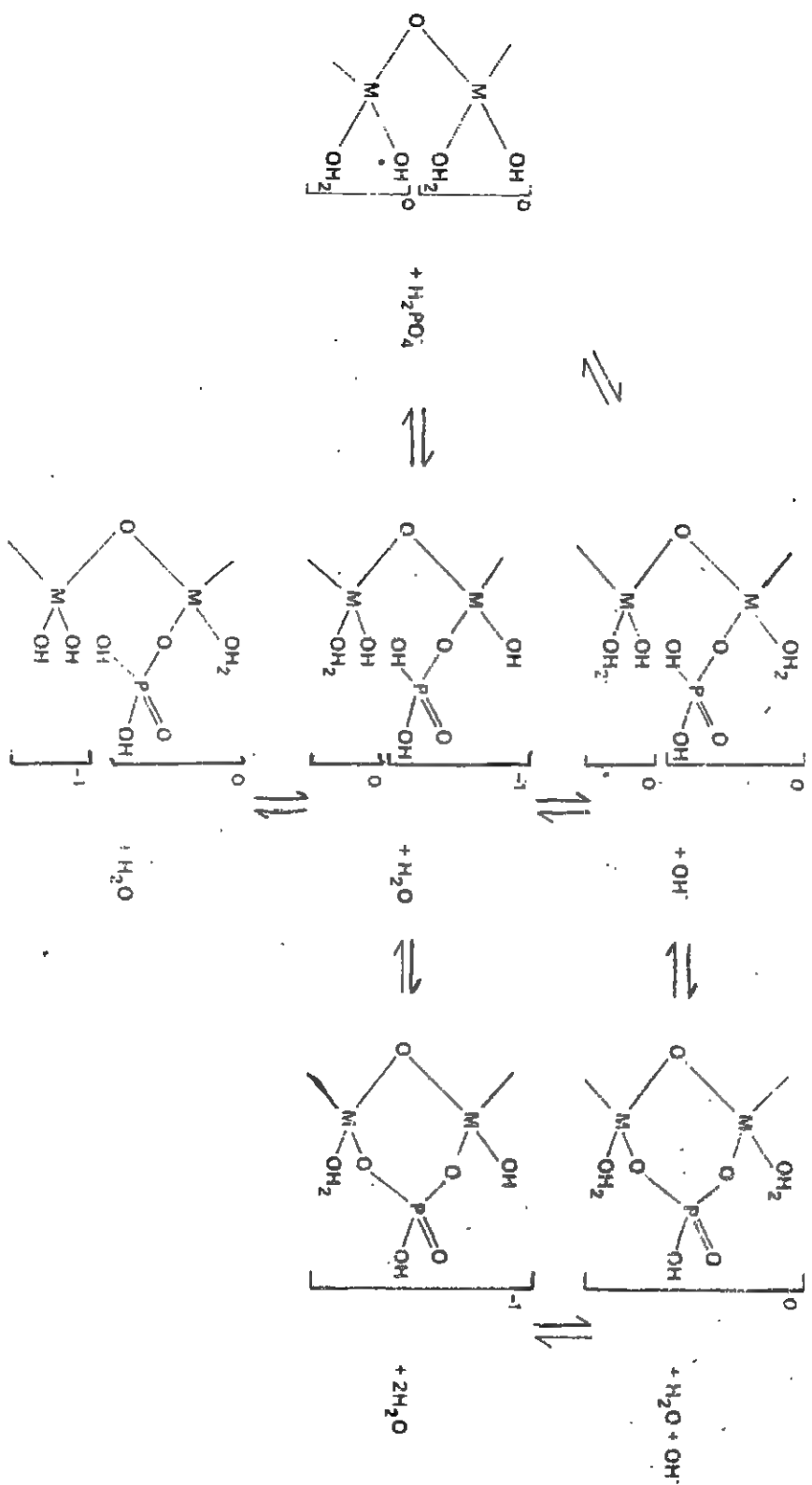
يمدص الفوسفات بواسطة كاربونات الكالسيوم في الترب الكلسية من خلال احلال ايون $H_2PO_4^-$ محل CO_3^{2-} مكوناً طبقة سطحية وبذلك يمكن وصف هذا التفاعل بمعادلة لانجوميير Langmuir ، ولكن هذه الحالة تتأثر بتركيز الفسفور المضاف إذ أن زيادة التركيز يدفع التفاعل لتكوين المزيد من الطبقات وبالتالي يتعدى الأمر حدود هذا التفاعل الذي يستلزم التركيزات الواطئة (حسب رأي Cole et al, 1953 لا يتجاوز $10^{-4} \times 3$ مول / لتر) وكذلك يعتمد على قيمة pH الوسط الذي يحدد النشاط الايوني للكالسيوم في محلول التربة .

يعتبر تفاعل الامدصاص مهماً في الترب الكلسية عند وجود التركيزات الواطئة من الفسفور وتكون الفترة الزمنية اللازمة لهذا التفاعل لا تتجاوز الساعة غالباً كما اشار الى ذلك (Holford & Mattingly, 1975) و (Cole et al 1953) وغيرهم .

(ب) يمدص الأزوداج الايوني للفسفور مع الكالسيوم $CaH_2PO_4^+$ والمغنيسيوم $MgH_2PO_4^+$ على سطح الكاربونات الصلبة وبالأخص كاربونات الكالسيوم . فلقد اشار (Douglas and Walker, 1950) الى سيادة الشحنة السالبة على سطح كاربونات الكالسيوم بعد إذابتها بالماء مما يدفع هذه الايونات الى الانجذاب والامتصاص نوعياً . وقد اكد (Holford & Mattingly, 1975) ذلك وأوضح أهمية السطح النوعي ومحتوى التربة من الكاربونات الصلبة للامدصاص النوعي للفسفور .

ج - الامدصاص الايوني بواسطة الاكاسيد

يتفاعل الفسفور المضاف مع مركبات الحديد والالمنيوم في الترب الحامضية ليكون معقدات مختلفة . وقد يكون التفاعل مباشراً مكوناً راسباً لمكونات الحديد او الالمنيوم مع الفوسفات مثل الفرسكايت Variscite أو السترنكايت Strengite او قد يمدص الفوسفات على سطح اكاسيد الحديد او الالمنيوم كخطوة اولى نحو ترسيب الفوسفات بهيئة مركبات قليلة الذوبان . وقد وصف Mott, 1970 و Mattingly, 1975 ميكانيزم الامدصاص النوعي للفسفور بواسطة اكاسيد الحديد أو الالمنيوم (شكل - 4) وتحرر جزيئات الماء وايونات الهايدروكسيل كنتيجة لهذا التفاعل ، بالاضافة الى سيادة الشحنة السالبة على السطح .



شكل (4) ميكانيكية امتصاص الفسفور على سطح الاكاسيد المعدنية وتغير الشحنة السطحية

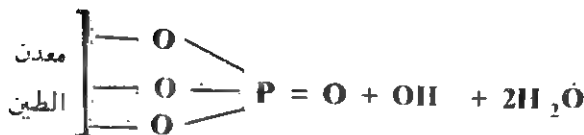
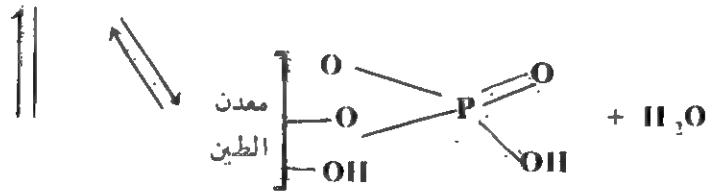
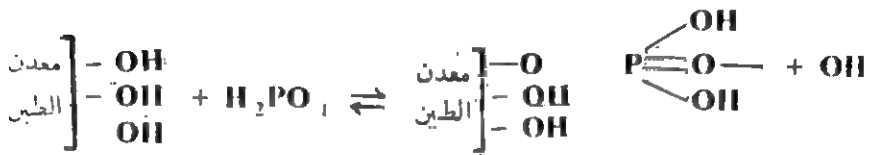
د - الامدصاص بواسطة معادن الطين

أوضحت دراسات عدد من الباحثين عدداً من التفاعلات التي تحدث للفسفور المضاف الى التربة مع معادن الطين السائدة .

وقد اشارت هذه الدراسات الى ان معادن الطين 1:1 مثل معدن الكاؤولينات اكثر قدرة على تثبيت الفوسفات من معادن الطين 1:2 . كما ان طبيعة التفاعل يمكن وصفها كالآتي : -

(1) قد يحدث احلال مماثل للفسفور في طبقة التتراهيدرا Tetrahedra محل ايون السيليكون إذ لوحظ ان مقدار السيليكا في معلق التربة يزداد بزيادة اضافة الفوسفات . وغالباً ما يتم هذا الاحلال في معادن 1:1 مثل معدن الكاؤولينات . ولا يمكن وصف هذا التفاعل كتفاعل امدصاصي لان الفسفور يثبت داخل المعدن وبذا يصبح بصورة غير جاهزة للنبات :

(2) لقد اشار عدد من الباحثين الى وجود احلال بين ايون الفسفور وايونات الهيدروكسيل الموجودة في الهيكل البنائي لمعدن الطين . وقد يتكون معدن جديد نتيجة لزيادة نسبة احلال الفسفور في المعدن . هذا بالاضافة الى أن مثل هذا التفاعل يساعد على زيادة عدد المجاميع الهيدروكسيلية المرتبطة بالمعدن مما يؤدي الى زيادة السعة التبادلية الكايتونية للمعدن بعد ارتفاع قيمة pH التربة الى اعلى من 7 .



(3) أكد عدد من الباحثين أن لنوع الكايتون السائد على سطح معدن الطين تأثيراً على كمية الفسفور الممدصة . وبالتأكيد فإن وجود ايون الكالسيوم على السطح يشجع عملية امدصاص الفوسفات على سطح المعادن بالمقارنة مع وجود الايونات الاحادية مثل ايون الصوديوم وايون البوتاسيوم . وقد حدد Wild, 1950 مساهمة الايونات الموجبة المتبادلة على سطح الغرويات كالاتي



ومن خلال ماوردناه نجد ان الفسفور المضاف للترب الحامضية يتعرض الى عملية التثبيت بواسطة الاكاسيد الحرة وكذلك المضاف للترب الكلسية بواسطة كاربونات الكالسيوم . ويمكن اعتبار الفسفور الممدص من حصه محتوى الحيز غير المستقر اي انه يمتلك امكانية التحرر والانطلاق desorption ليكون جاهزاً للنبات . وقد تتعرقل عملية الانطلاق حال تحويل حالة الامدصاص الى حالة الترسيب وتكوين مركبات فوسفاتية مختلفة اما بسبب زيادة تركيز الفسفور المضاف او نتيجة لترسب اكاسيد معدنية او جزيئات من كاربونات الكالسيوم على سطح الغرويات الممدصة للفوسفات وبذلك تحجزه وتمنعه من الانطلاق ليكون جاهزاً للنبات .

إن عملية انطلاق desorption الفسفور الممدص تاتي من خلال اطلاق ايونات سالبة معينة لها قدرة الامدصاص النوعي مثل ايون البيكاربونات وايون الفلورايد محل الفوسفات الممدص . وقد يتكون ايون البيكاربونات في محلول التربة اثناء تحرر ثاني اوكسيد الكربون في عملية التنفس واذابته بالماء مكوناً حامض الكاربونيك الذي سرعان مايتحلل وفقاً للمعادلة الآتية .



كما ان بعض المركبات العضوية مثل حامض الستريك وحامض الترتريك وغيرها تساهم ايضاً في طرد الفسفور الممدص من واقعة ليكون جاهزاً للنبات .

2- تفاعلات الترسيب

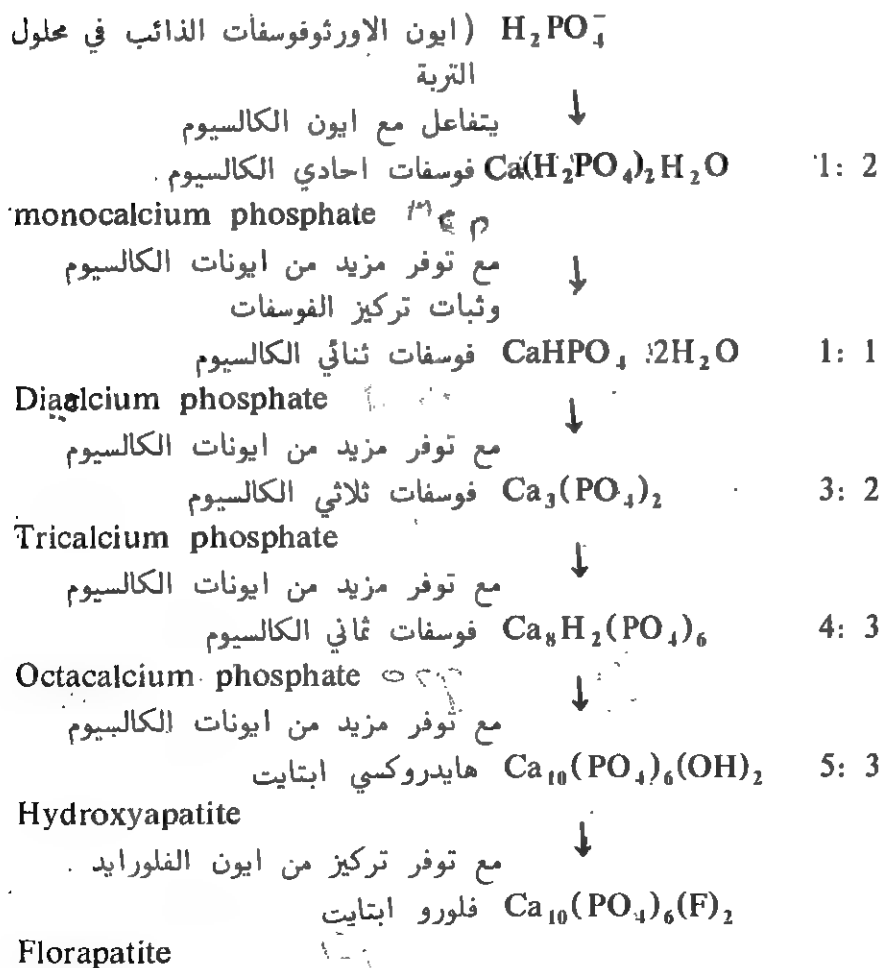
لقد اشارت عدة دراسات الى تدهور نسبة عالية من الفسفور المضاف من خلال تفاعلات الترسيب التي يمكن النظر اليها كخطوة تالية لعملية امدصاص الفوسفات ولكنها اكثر تعقيداً وضرراً في صلاحية الفسفور لتغذية النبات . ويمكن دراسة هذه التفاعلات كالاتي :

أضيف خاد حوضيات $CaSO_4$ و $CaCO_3$ كمرتب ملبغ الحامض على
ساقهم التفاعلات الذائبة مع الماء (مذاب) مرتبة على حدة
حسبها لنبات

أ - التفاعلات بالترب الكلسية

يتعرض الفسفور المضاف الى الترب الكلسية الى سلسلة من التفاعلات مع
كربونات الكالسيوم أو ايون الكالسيوم الذائب في محلول التربة أو المتبادل على
سطح معادن الطين مكوناً مركبات افوسفاتية مختلفة ، ولو حاولنا تتبع سلسلة
التفاعلات ابتداءً من الصور الذائبة بمحلول التربة الى تكوين المركب الأكثر ثباتاً
واستقراراً بالتربة ، لوجدنا ان زيادة تركيز ايون الكالسيوم مع ثبات تركيز الفسفور
يساعد على تعجيل الوصول الى نهاية سلسلة التفاعل ، وهذا يعني خسارة الجزء
الاكبر من الفسفور المضاف بعد تحوله الى صور غير جاهزة للنبات ، اي تحوله الى
صور موقع المستودع المستقر . ومن اجل ذلك دعنا نتابع السلسلة التالية :

نسبة Calp



إن جاهزية الفسفور تقل مع تكوين المركبات الفوسفاتية القليلة الذوبان ، اي بالاتجاه نحو الاسفل مع السهم .

ب - التفاعلات بالترب الحامضية

يتفاعل الفسفور المضاف للترب الحامضية مع الاكاسيد الحرة وايونات الالمنيوم والحديد والمنغنيز ليترسب الفوسفات بصيغة مركبات مختلفة أهمها مركب السترنكايت *Strengite* ومركب الفرسكايت *Variscite* . وفي بداية تفاعلات الترسيب تتكون مركبات غروية *amorphous* ذات محتوى عالٍ من الفسفور ولكنها سرعان ماتتحول مع الوقت الى مركبات قليلة الذوبان .

العوامل التي تؤثر على تفاعلات الترسيب

سنحاول مناقشة العوامل التي تؤثر على تفاعلات الترسيب في مختلف الترب لكي تتمكن من خلالها تفهم الجوانب المختلفة لمشكلة تدهور الفسفور بعد اضافته .

١ - محتوى التربة من الكربونات الصلبة

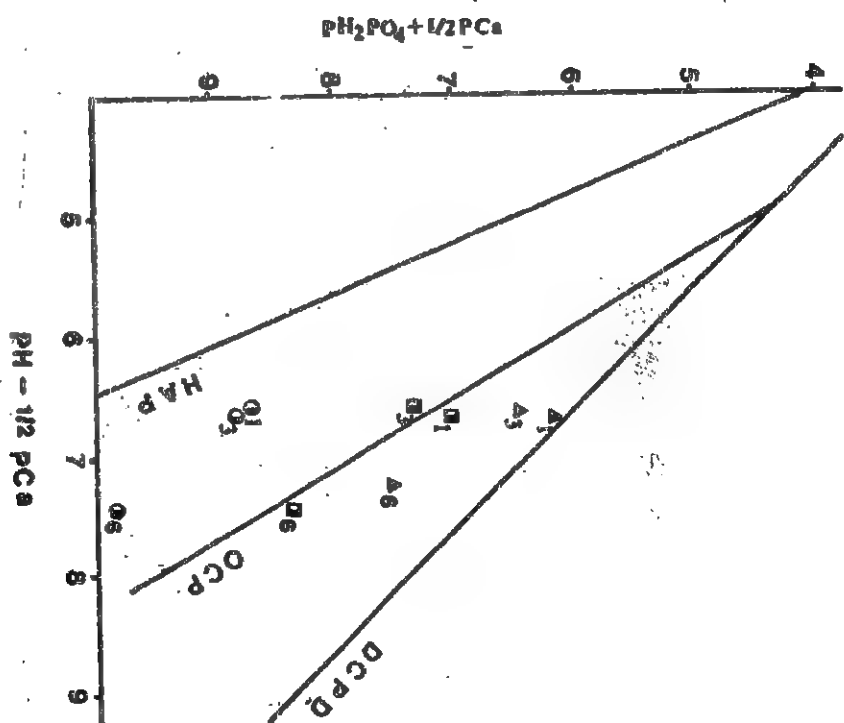
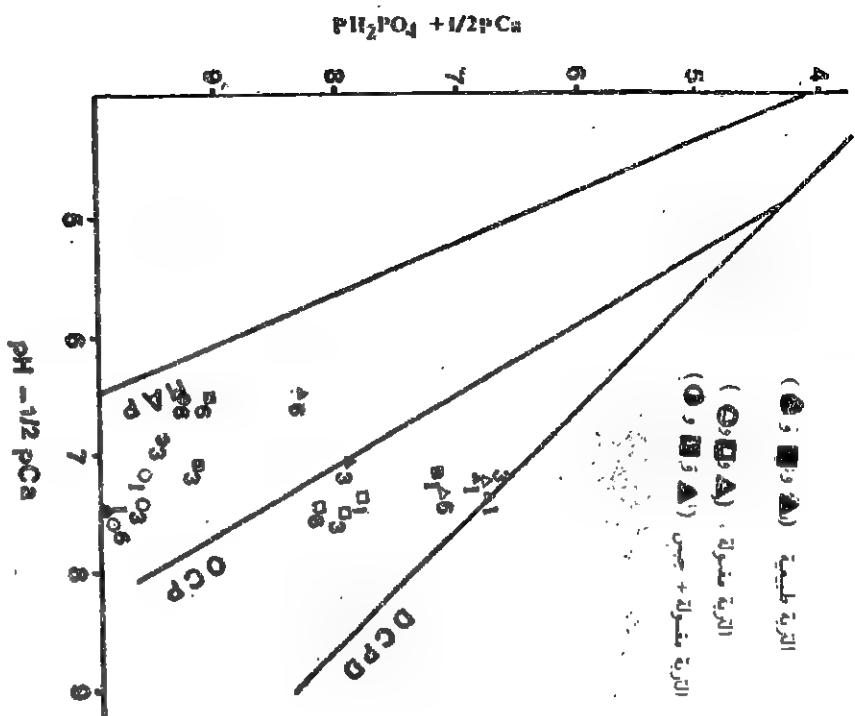
لقد سبق أن اوضحنا تأثير ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم وكاربوناتها على جاهزية الفسفور للنبات . ولم يقتصر تأثير هذه المكونات على سلوك الفسفور في الترب الكلسية فحسب بل اشارت نتائج عدد من الباحثين الى التأثير الفعال للمادة الكلسية المضافة للترب الحامضية . ويمكن ايجاز طبيعة هذا التأثير على طبيعة الفسفور وسلوكه كما اورده (Cole et al. 1953) كالآتي :

(1) التأثير المباشر على pH التربة .

(2) طبيعة سطحها الفعال .

(3) تعتبر مصدراً لايونات الكالسيوم .

ومن خلال النقاط السابقة يمكن ايضاح التأثير الفعال لكاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم على جاهزية الفسفور الاصلي بالتربة والمتحرر من الاسمدة الفوسفاتية الذائبة المضافة . ومن النتائج التي توصل اليها (Griffin & Jurinak, 1973) يمكن اعتبار تفاعلات امدصاص الفسفور على سطح الكلسايت *Calcite* تتم فقط عند التركيزات الفوسفاتية الواطئة وان زيادة التركيز يؤدي الى تكوين المركبات الفوسفاتية المختلفة نتيجة التفاعل المباشر بين الفسفور والكالسيوم أو المغنيسيوم . ولقد حاولنا دراسة تأثير محتوى نماذج معينة من الترب العراقية من الكربونات الصلبة (كاربونات الكالسيوم) على تفاعلات الفسفور وقد كان واضحاً ان لهذه المادة تأثيراً فعالاً في خفض الفسفور الجاهز الاصلي بالتربة والمضاف بهيئة سماد فوسفاتي (شكل -5) .



الشكل (5) منحنى اذابة الفوسفور لترية البسيح الماخوية على 28% كاربونات كالسيوم بعد
 اضافة 4000, 400, 0 كغم / PZ₂O₃ هكتار لسداد سيوفوسفات المركز - الارقام
 تقل عدد دورات الري والتجفيف .

2- محتوى الأكاسيد والهيدروكسيدات الحرة

لقد أوضحنا أن تفاعلات الفسفور -المضاف للترب الحامضية تتجه أما الى امدصاص الفسفور على سطح الأكاسيد والهيدروكسيدات وأما الى التفاعل المباشر مع هذه المكونات مما يؤدي الى انتاج مركبات فوسفاتية للالمنيوم والحديد Al-and Fe-phosphates . وقد اشار (Juo & Boyd, 1967) الى وجود سلسلة من نواتج التفاعل reaction products تبدأ بالمركبات الغروية amorphous ذات القدرة التجهيزية العالية للفسفور الى المركبات البلورية Crystalline الأكثر استقراراً وثباتاً والقليلة الذوبان مثل الفرسكايت والسترنكايت . وبين (Udo & Uzu, 1972) إن المركبات المتكونة من Al-P تبقى فترة أطول في حالة غروية (أي أكثر جاهزية) بالمقارنة مع المركبات المتكونة من Fe-P التي تحتاج لفترة قليلة لتتحول الى مركبات بلورية ثابتة . وبصورة عامة تساهم جميع الأكاسيد والهيدروكسيدات في تدهور صلاحية الفسفور كما إن زيادة محتوى التربة يساهم في تشجيع عملية الترسيب وتحويل الفسفور الى صور أقل جاهزية للنبات تقع ضمن صور الحيز المستقر .

3- الرقم الهيدروجيني للتربة Soil-pH

يؤثر pH التربة على جاهزية الفسفور للنبات . فقد أشار (Black, 1968) الى تفضيل النبات لأيون $H_2PO_4^-$ بالمقارنة مع الصور الايونية الأخرى . وإن تركيز أيون $H_2PO_4^-$ يحدده pH التربة ، إذ يقل تركيزه في محلول الترب القاعدية والحامضية ويسود في الترب المتعادلة .

ويؤثر pH التربة ايضاً على تفاعلات ترسيب الفسفور إما من خلال التحول السريع للمركبات العالية الذوبان (مثل فوسفات ثنائي الكالسيوم) الى مركبات قليلة الذوبان مثل فوسفات اوكتا الكالسيوم . فقد اشار (Moreno et al 1960) الى أن ارتفاع pH التربة الى اعلى من 6.4 يؤدي الى سرعة تحول DCPD «—» OCP . أو تأثيره على تركيز الفسفور من الصور المختلفة (جدول 2) . لذا أُنحِتْ التُراسات الى اضافة مواد حامضية مثل الكبريت المعدني وغيرها لمعالجة التدهور السريع للفسفور بفعل pH التربة المرتفع في الترب الكلسية .

جدول (2) تأثير قيمة pH الوسط على تركيز الفسفور المنطلق من مركبات فوسفاتية مختلفة .

pH	المركب الفوسفاتي	كمية الفسفور $10^{-4} \times \text{مول / لتر}$
6.5	DCPD	6.41
	OCP	3.30
	HA	0.025
7.0	DCPD	3.0
	OCP	0.77
	HA	0.0026
8.0	DCPD	1.45
	OCP	0.082
	HA	0.000057

4- نوعية معادن الطين وكميتها

يتأثر ترسيب الفوسفات بنوعية الكايتونات المتبادلة وكميتها التي يحددها نوع معدن الطين السائد وكميته ، بالإضافة الى التفاعل المباشر بين مكونات بعض انواع المعادن (مثل الاكاسيد الحرة) والفسفور وقد سبق أن اشرنا الى سلسلة (Wild, 1950) وتأثير الايونات المتبادلة على امدصاص الفوسفات ويمكن اعتبار التركيز العالي من الكايتونات المتبادلة ذات التأثير المباشر على الترسيب عاملاً مساهماً في زيادة معدل الترسيب للفسفور .

5- المادة العضوية

يوجد الفسفور المعدني بالترب بهيئة مركبات قليلة الذوبان مثل فوسفات الالمنيوم والحديد والكالسيوم . وتلعب المادة العضوية دوراً كبيراً في خلب Chelate الايونات الموجبة (الالمنيوم - الحديد - الكالسيوم) مما يؤدي ذلك الى تحرر الفسفور وانطلاقه بالتربة . وقد حدد (Struthers & Sieling, 1950) أهمية المادة العضوية في حفظ الفسفور وعرقلة تفاعلات الامدصاص والترسيب بالآتي :

- (1) تساهم الغرويات العضوية في حجب الايونات الموجبة (الكالسيوم - الحديد - الألمنيوم) من التفاعل المباشر مع الفسفور الذائب .
- (2) يرافق تحلل المواد العضوية إنطلاق غاز ثاني اوكسيد الكربون الذي يعمل على خفض pH التربة مما يساعد على اذابة بعض المركبات الفوسفاتية .
- (3) تعتبر المادة العضوية مصدراً جيداً للفسفور العضوي الذي يمتاز بقلّة تشييته بواسطة غرويات التربة بالمقارنة مع الفسفور المعدني ، بالإضافة لقدرة احياء التربة لتحلله وتحويله الى صور معدنية جاهزة للنبات . وقد اشار (Mattson, 1951) الى قدرة المادة العضوية في زيادة جاهزية مركبات فوسفات الكالسيوم (مثل الايتايت) الى حوالي عشرة اضعاف . في حين درس Perrott, 1979 كفاءة المادة العضوية في عرقلة تبلور المركبات الفوسفاتية الغروية في الترب الحامضية . وقد اكدت النتائج أهمية اضافة المادة العضوية في عرقلة ترسيب الفوسفات في مثل هذه الترب . كما اكد (Aimer et al, 1980) دور المادة العضوية في زيادة جاهزية الفسفور للحنطة (جدول 3) .

6- ملوحة التربة

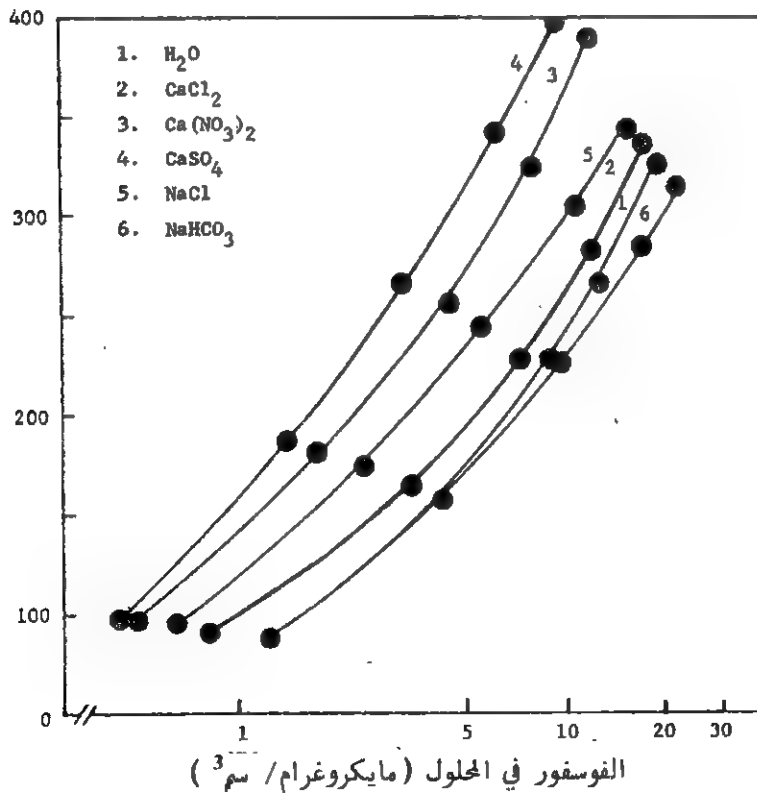
إن لكايونات الاملاح المختلفة تأثيراً على اذابة الفسفور في الترب . فقد اشار كل من (Olsen, 1953 و Wild, 1950) الى انخفاض جاهزية الفسفور عند زيادة ملوحة التربة . وقد اكد (Awad, 1982) هذا الاستنتاج من خلال دراسته لتفاعلات الفسفور في نماذج من الترب العراقية (الملحية الكلسية) . ومن خلال تلك النتائج يمكن القول بأن الفسفور المضاف للترب القليلة المحتوى من الاملاح أو الكربونات الصلبة يبقى محافظاً على جاهزيته فترة أطول بالمقارنة مع تفاعلات الفسفور في ترب عالية المحتوى . كما أن اضافة الجبس بعد ازالة الاملاح من الترب يخفض الى حد ما اذابة الفسفور مقارنة بنفس المعاملة ولكن بدون اضافة الجبس الى نفس الترب المغسولة . علماً بأن هذا الانخفاض في اذابة الفسفور لم يصل الى المستوى الذي عليه في الترب غير المغسولة من الاملاح وهذا بالطبع يؤكد أن اذابة الفسفور تتأثر بالقوة الايونية لمحلول التربة ونوعية الايون الموجب الشحنة السائد على السطح (الشكل 5 و 6) . كما وجد أيضاً أن امتصاص واستفادة محصول الذرة الصفراء من الفسفور قد تتأثر بمحتوى التربة من الملوحة والكربونات .

جدول (3) تأثير اضافة المادة العضوية على وزن الحبوب والقش والكمية الممتصة من الفسفور بواسطة محصول الحنطة .

المعاملة	بوحدة غرام / سندان		نظم / سندان
	وزن الحبوب	وزن القش	الكمية الممتصة من الفسفور
المعاملة القياسية	تربة رسيبة		
117.3	54.3	69.1	
269.5	86.3	77.3	
50 PP M			فسفات احادي الكالسيوم
فسفور خلط			
50 PP M			فسفات احادي الكالسيوم
341.6	84.8	75.1	فسفور + 3% مادة عضوية
309.8	85.9	78.0	فسفات احادي الكالسيوم
100 PP M			فسفور خلط
50 PP M			فسفات ثنائي الامونيوم
280.7	84.2	87.2	فسفور خلط
349.0	88.5	80.7	فسفات ثنائي الامونيوم
50 PP M			فسفور خلط
272.9	94.2	90.5	فسفات ثنائي الامونيوم
فسفور			
365.2	89.2	82.2	اضافة تحت السطح
269.2	90.5	84.8	فسفات ثنائي الامونيوم 50 PM
175.5	63.2	65.5	3% مادة عضوية
فسفور			
18.4	17.4	25.5	اضافة تحت السطح
54.8	62.0	73.7	3% مادة عضوية خلط
174.3	84.3	77.8	فسفات احادي الكالسيوم
270.7	84.9	82.2	فسفور خلط
279.5	62.8	78.2	فسفات ثنائي الامونيوم
203.1	70.3	76.6	فسفور خلط
244.5			فسفات ثنائي الامونيوم
100 PP M			فسفور خلط

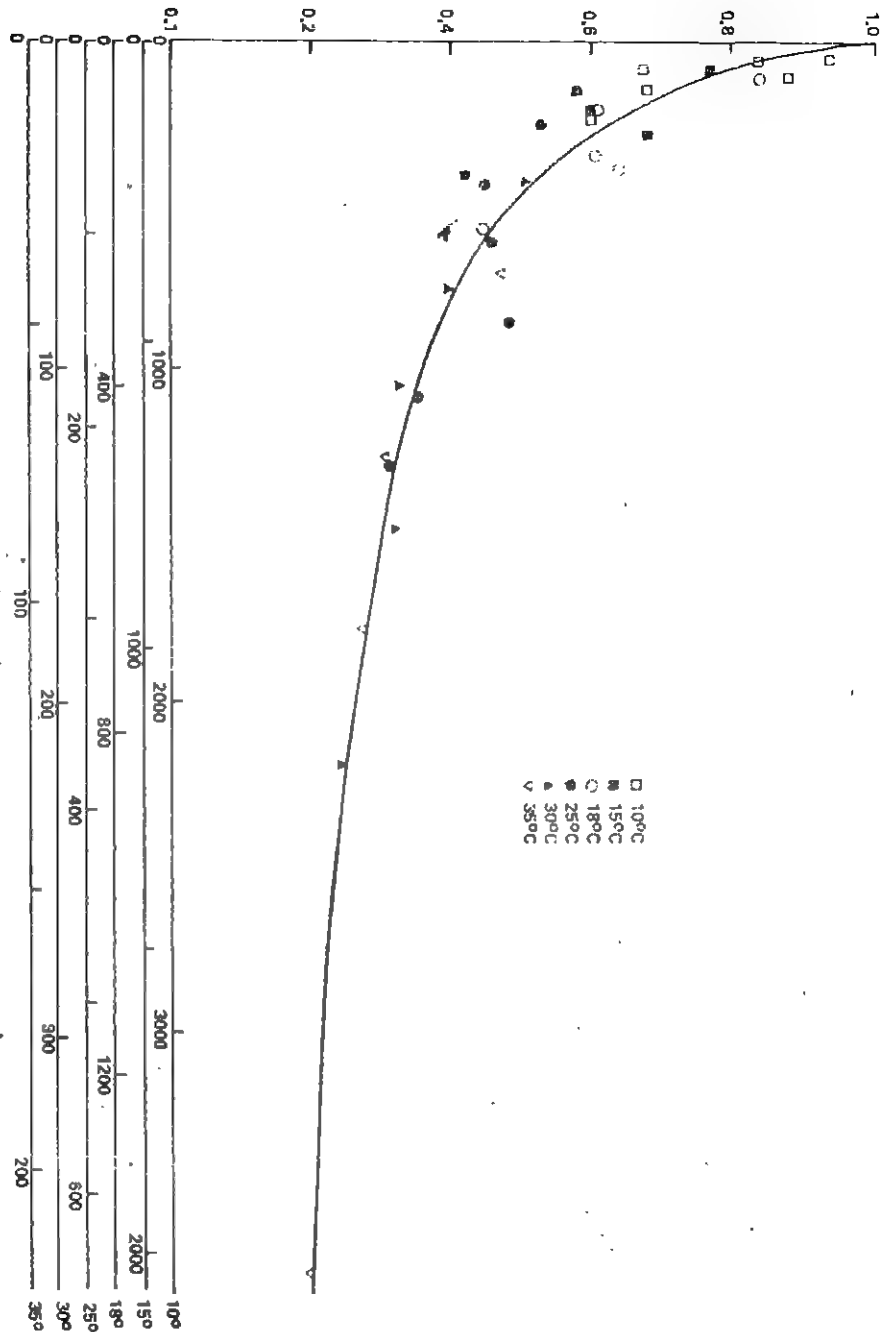
وقد قدم (Buehrer, 1932) تفسيراً لتأثير الاملاح على كفاءة الاسمدة الفوسفاتية وأشار الى قدرة الاملاح وبالاخص الاحادية مثل ملح كلوريد الصوديوم على اذابة كاربونات الكالسيوم وتحرير مزيد من الكالسيوم الذي يساهم في زيادة تركيزه في محلول التربة مما ينعكس ذلك على تعجيل ميكانيكية ترسيب الفسفور . وحاولنا ايضاً دراسة تأثير نوعية الاملاح وتركيزها على تفاعلات الفسفور وكانت النتائج تؤكد الانخفاض المعنوي في جاهزية الفسفور مع زيادة تركيز الاملاح وإن طبيعة التأثير تتبع سلسلة (Lehr & Van Wesenal, 1952) التي يترتب بها املاح الكايتونات حسب تأثيرها كالاتي (الشكل 6) $Ca \ll Mg \ll K \ll Na$ وإن املاح الكبريتات أقل تأثيراً من املاح الكلوريدات والنترات . ويمكن الرجوع الى نتائج عدد من الباحثين أمثال (Ryden & Syers; 1975, Ryden et al, 1977) وغيرهم للاستفادة من ذلك (الشكل - 6) .

ويجدر الاشارة الى وجود عوامل أخرى تتحكم ايضاً في تفاعلات الترسيب. فالنفس الذي يلعب دوراً كبيراً في خفض تركيز الفسفور (الشكل 7) . بالاضافة الفوسفور الممتز (مايكروغرام / غرام)



الشكل (6) تأثير اضافة 0.01 مول / لتر من محاليل ملحية مختلفة على ترسيب الفسفور
المضاف بتركيز مختلفة 1300-1500 Mg P بهيئة KH_2PO_4 (Singh & Tabataba, 1976)

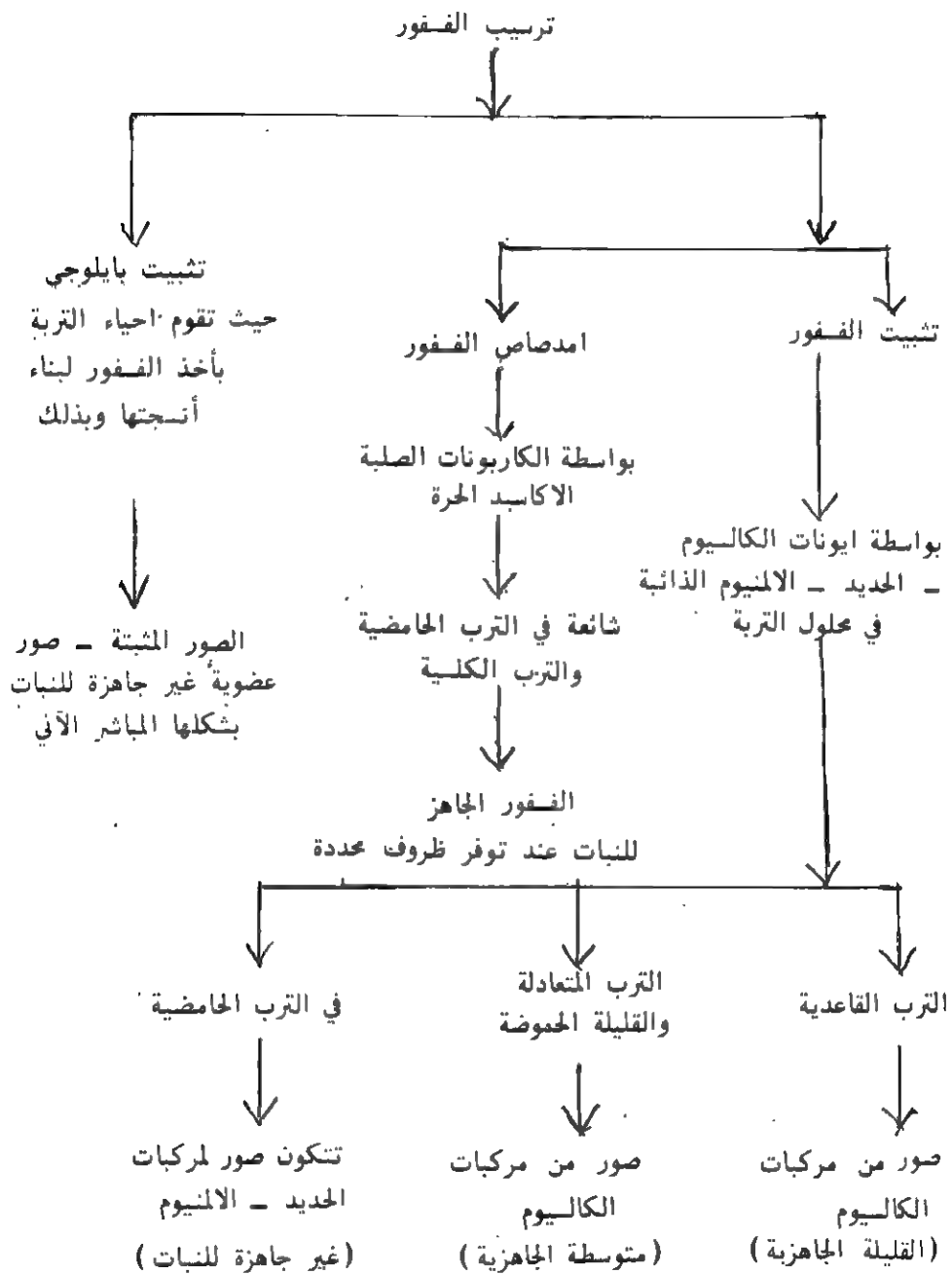
التأثير النسبي



فترة الحضانة (الأيام)

الشكل (7) تأثير الوقت ودرجة حرارة الحضانة على تأثير استجابة النبات للفسفور المضاف (Barrow, 1974)

الى الرطوبة ودرجة الحرارة ونظام الترطيب والتجفيف ونوع السماد المضاف
وخصائصه وسنكتفي بذكرها فقط . والمخطط التالي يبين ميكانيكية تثبيت
الفسفور في مختلف الترب .



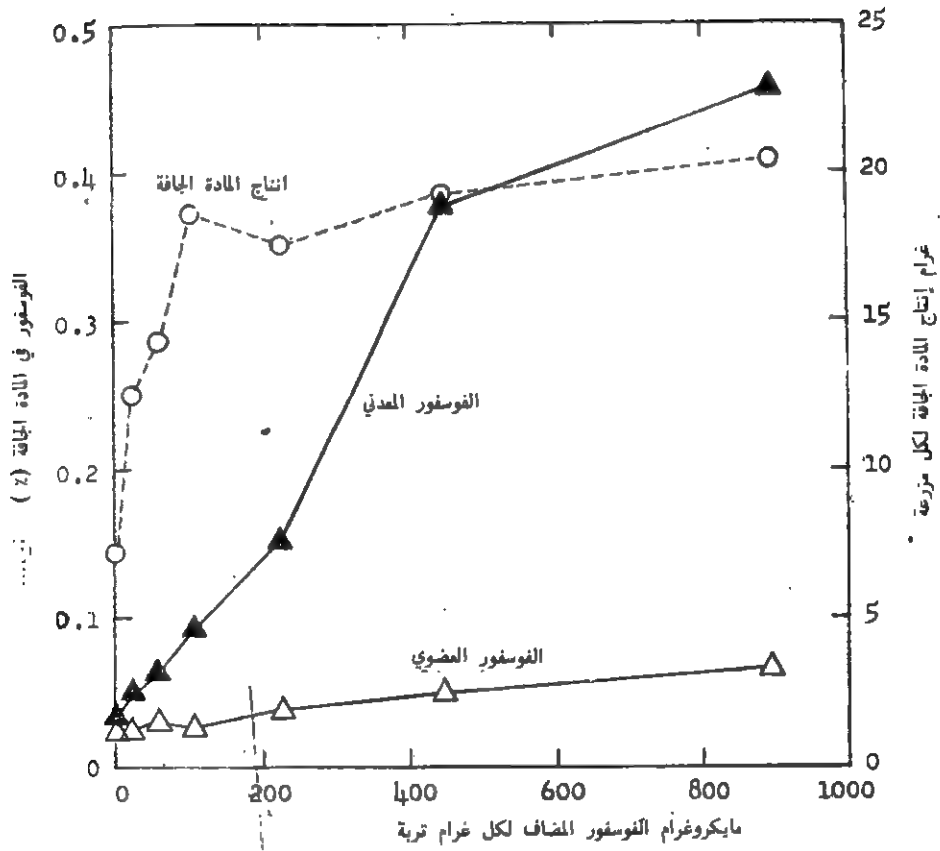
امتصاص الفسفور

يتمص النبات عنصر الفسفور بهيئة أيونية هي H_2PO_4^- و HPO_4^{2-} ، ويمكن النظر الى الصورة الثانية (H_2PO_4^-) بأنها الصورة الأكثر تفضيلاً . يستهلك الفسفور الممتص من قبل النبات دون تعرضه الى عملية اختزال كما يحصل ذلك بعد امتصاص النترات (NO_3^-) . لذا يشترك الفسفور بصورته المتأكسدة حال امتصاصه في العمليات الحيوية المختلفة ، فقد اشار Jackson and Hagen (1960) الى تحول 80% من الفسفور الممتص وبعد 10 ثواني من امتصاصها الى صور عضوية مثل hexosephosphate و Uridine diphosphate ثم تتحرك هذه الصور خلال النبات الى جميع اجزاء النبات باحثاً عن اي جزء يحتاج الى الفسفور وبهذا تعتبر الصورة العضوية الصورة الرئيسية الحاملة للفسفور . وتختلف نسبة الفسفور العضوي بالمقارنة مع نسبة الفسفور المعدني الممتص وفقاً لنوع النبات وعمره واجزائه (جدول 4) . ومن خلاله يمكن القول بأن $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$ من الفسفور المعدني الممتص يبقى بصورته الطبيعية . وهذا يعني أن ارجاع بقايا النبات الى التربة يدفع الفسفور المعدني للانطلاق من هذه البقايا والتفاعل مع مكونات التربة . فقد درس (Hunziker, 1949) العلاقة بين انتاج محصول الشوفان ومحتواه من الفسفور العضوي والمعدني المزروع في ترب عوملت بمستويات مختلفة من سماد السوبر فوسفات . وقد أستنتج بأن محتوى المادة الجافة للشوفان من الفسفور المعدني اكبر

جدول (4) محتوى اجزاء بعض النباتات من صور الفسفور العضوي والمعدني (استل من (Sauchelli, 1965) .

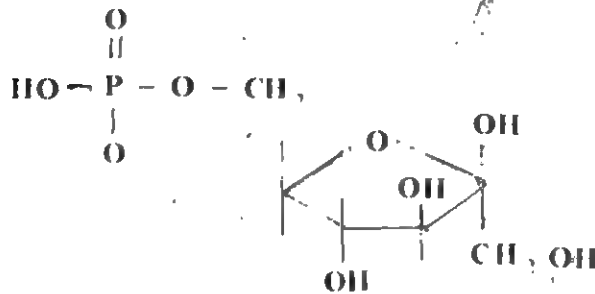
المحتوى النبات الكلي من الفسفور (%)	المعدني	العضوي	اجزاء النبات	الحصول
5	95	بذور	الذرة الصفراء	
40	60	السيقان	الذرة الصفراء	
4	96	بذور	الحنطة	
72	28	القش	الحنطة	
5	95	بذور	فول الصويا	
45	55	الدرنات	البطاطا	
45	55	الألياف	القطن	

من محتواها من الفسفور العضوي (الشكل 8) ، إذ يعتمد محتوى النبات من الصور العضوية على قدرة النبات على تحويل الصور العضوية وكذلك على معدل النشاط الحيوي في جميع اجزاء النبات .



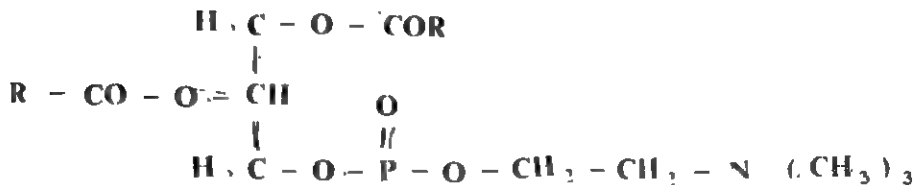
الشكل (8) إنتاج المادة الجافة لحصول الشوفان ومحتوى انسجته من الفسفور المعدني والعضوي النامي في تربة عوملت بمستويات مختلفة من ساد السوبر فوسفات .

إن الصور العضوية الشائعة التواجد في أنسجة النباتات المختلفة يمكن تحديدها بالآتي : فايٲن nucleic ، nucleoproteins ، phospholipids ، phytin ، acids ، adenine ، phosphorylated suger ، ومركبات فوسفاتية عضوية مرتبطة مع بعض الانزيمات ويتمركز الفسفور العضوي في البذور ويقل في الاجزاء الاخرى من النبات وللمقارنة فان الفسفور المعدني يتمركز في خلايا الجزء الخضرى ، وتحتوي الثمار على كمية عالية من الفسفور العضوي غالباً يلعب الفسفور دوراً هاماً كحامل للطاقة ويتلخص الامر بأن الفسفور المعدني الممتص يرتبط من خلال مجموعة الهايډروكسيل مع وحدات السكر مكونة بذلك الاتحاد صورة عضوية مثل Fructose 6-phosphate .



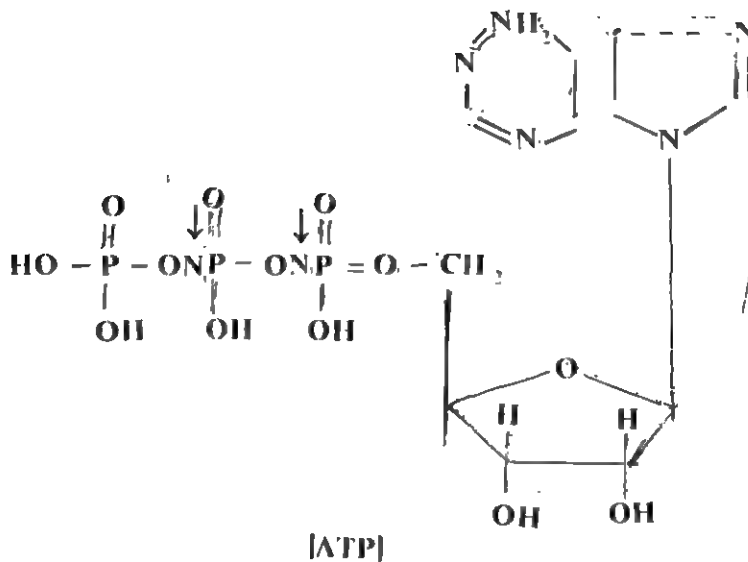
Fructose 6-phosphate

وهناك ارتباط اخر للفسفور كما يحصل في حالة تكوين Lecithin



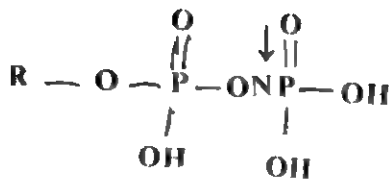
Lecithin

وإن أهم المركبات الفوسفاتية هي adenosine triphosphate (ATP)



adenosine diphosphate (ADP)

صورة الطاقة

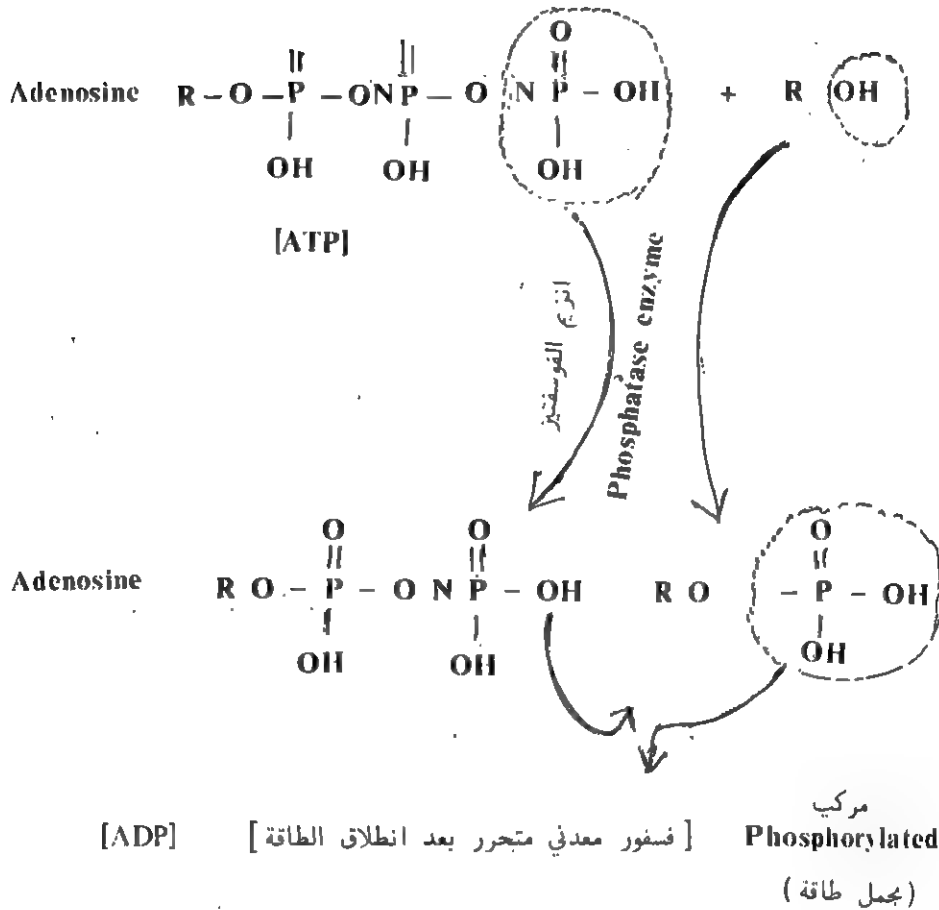


إذ أن R تمثل وحدات سكر متكونة من خمسة ذرات كاربون five carbon sugar وتحتوي المركبات (ATP) و (ADP) على أوأصر غنية بالطاقة تنطلق خلال عملية التحلل المائي لهذه المركبات . إذن يتكون المركب (ATP) خلال عملية التركيب الضوئي واتحاد الفسفور مع جزيئات السكر . ولكن خلال عملية التنفس

أو تحت الظروف اللاهوائية يتحول المركب (ATP) خلال عملية التحلل المائي مكوناً (ADP) ومحرراً طاقة ، كما تصفه المعادلة التالية :



معدني



إن عملية تكوين [ATP] تتم بخطوتين، أو أكثر تبدأ بتكوين مركب phosphorylated الذي يحمل الطاقة ويتحرر هذا المركب من جديد خلال العملية العكسية في تكوين [ADP] من المركب [ATP] الذي يتحلل بواسطة الاستهلاك المباشر من قبل العمليات الحيوية محرراً فسفوراً معدنياً وطاقة . من

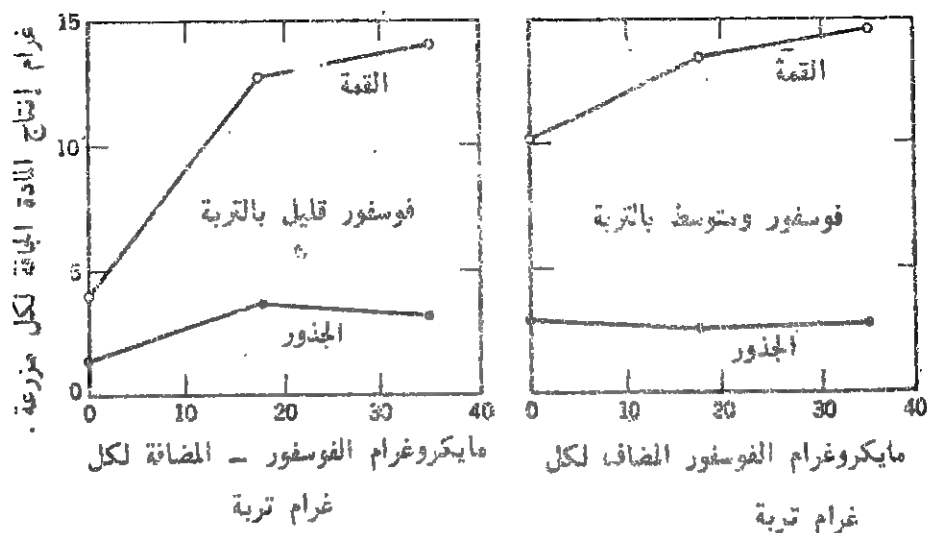
خلال ما تقدم. يتضح الدور الكبير الذي تلعبه هذه المركبات الحاملة للطاقة في الجاز العمليات الحيوية المختلفة في اجزاء النبات وفي مختلف مراحل النمو. إن امتصاص العناصر الغذائية وتحركها تعتمد وبشكل اساسي على كمية [ATP] في المجموع الجذري وانسجة النبات الاخرى. وبهذا يساهم الفسفور في زيادة انتاج المحاصيل الزراعية. كما تساهم هذه المركبات في تمييز العمليات الحيوية الاخرى كأمتصاص الماء وتمثيل المركبات العضوية اللازمة لتكوين أنسجة ومكونات النبات الاخرى. وان مختلف هذه العمليات لها مساهمتها في زيادة انتاجية المحاصيل والنباتات المختلفة (جدول 5). ومن خلال ذلك يمكن تفسير سبب تركزز محتوى عالٍ من الفسفور المعدني في المجموع الجذري وازدياد محتوى النبات المسن من الفسفور العضوي بالنسبة لكمية الفسفور الكلية.

جدول (5) استجابة الذرة البيضاء للتسميد الفوسفاتي (Adepetu, 1983)

مستوى السماد كغم / هكتار	متوسط انتاج الحبوب كغم / هكتار (% من انتاج المعاملة P_0)	استجابة المحصول
P_0	301	—
P_{15}	490	63
P_{30}	586	95

الفسفور ونمو النبات

إن امتصاص النبات لعنصر الفسفور يساهم في زيادة نمو جميع اجزاء النبات. فقد اشار (Power et al 1963) الى أن استجابة الجزء العلوي above ground part اعلى من استجابة المجموع الجذري (الشكل 9). وقد عللا زيادة القمة Tops التي تشمل الساق والاوراق في محصول الشعير الى الاستهلاك المستمر للكاربوهيدرات Carbohydrate في القمة وعدم نزوله الى الاسفل. وقد كانت النتائج التي توصل اليها (Houghland, 1947) على محصول البطاطا مطابقة لما توصل اليه Power وجماعته على محصول الشعير. وبهذا يمكن القول بأن المجموع الجذري يخزن الفسفور المعدني الذي يتحرك وفقاً للطلب الى الجزء الاعلى في حين أن استمرار نمو القمة يمنع نزول الكاربوهيدرات. لذا فإن المحاصيل الثمرية ومحاصيل الحبوب ايضاً تحتاج الى كمية عالية من الفسفور وذلك للمحافظة على مخزون كاربوهيدراتي جيد.



الشكل (9) إنتاج الجزء العلوي وجذور الشعير المزروع في تربة رملية مزيجية عوملت بمستويات مختلفة من سباد السوبر فوسفات المركز.

كما لاحظ البعض أنَّ الفسفور يساهم في تعجيل دخول النبات في مراحل النمو المتقدمة. فالإضافة العالية من الفسفور قد تعجل النبات للدخول في مراحل الأزهار المبكر (جدول 6). وقد أيد ذلك (Yamashita and Goto, 1963) بعد أن لاحظ تأثير إضافة الفسفور بكميات كافية على إنتاجية محصول الطماطم بالمقارنة مع عدم الإضافة. كما أشار (Specht, 1963) إلى أن عدم إضافة الفسفور لبعض أنواع الخضراوات والمحاصيل دفع إلى تأخير فترة النمو بالمقارنة مع النباتات النامية في تربة تحتوي على كمية كافية من الفسفور. وقد أخذت هذه الظاهرة لإنتاج بعض المحاصيل والإسراع في نضجها قبل وقتها لتلافي الظروف الجوية أو عوامل أخرى تؤثر على الإنتاج.

جدول (6) تأثير مستوى الفسفور المضاف على إنتاجية الباقلاء وتعجيل فترة النضج (Black, 1968).

معدل إنتاج الباقلاء المبكر منسوبا لإنتاج الكلي	انتاج الباقلاء كغم / هكتار	مستوى السباد الفوسفاتي المضاف / كغم / هكتار
25	20	0
40	227	20
47	400	39
48	388	59

وقد اشارت نتائج العديد من الابحاث العلمية الى أن استجابة المحاصيل الزراعية للفسفور تكون اكبر في بداية الموسم وتقل تدريجياً وصولاً الى مرحلة النضج . ويمكن ايضاح ذلك من خلال مناقشة نتائج جدول (7) . وهذا يؤكد اهمية اضافة الاسمدة الفوسفاتية منذ بداية مراحل النمو وإن حصول المحصول على كمية كافية من الفسفور بداية الموسم ينعكس بالاجاب على الانتاج الكلي ، أي أن النبات يفضل امتصاص احتياجاته من الفسفور بداية النمو .

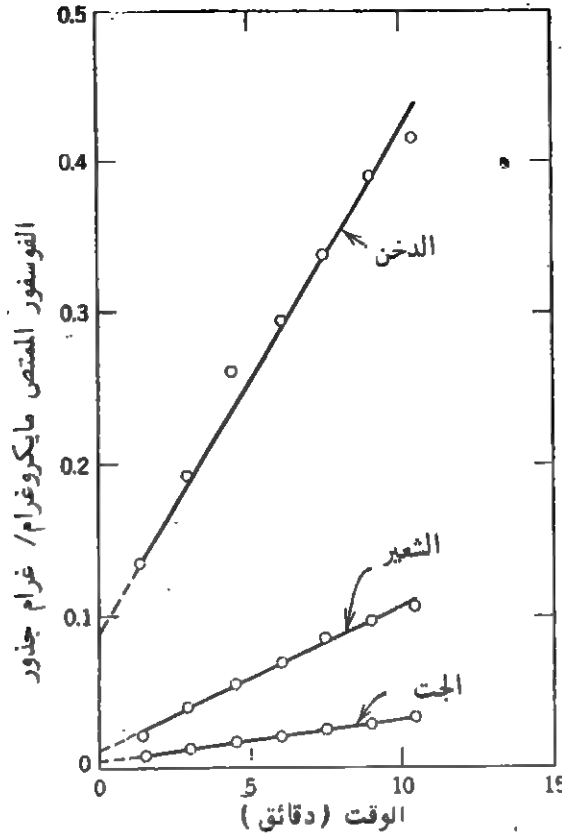
جدول (7) تأثير وقت التسميد على انتاجية محصول الشوفان من (المادة الجافة) بوحدة كغم / هكتار (استل من Black, 1968) .

وقت التسميد	بدون اضافة فسفور / كغم	اضافة 39 كغم فسفور / هكتار من الفسفور المضاف %	معدل الزيادة
2 / حزيران	570	760	33
22 / حزيران	3000	3400	13
8 / تموز	4200	4700	12

إذ من أهم العوامل المحددة للاستجابة للفسفور هي نوع المحاصيل الزراعية إذ وجد أن قدرة المحاصيل في استخلاص الفسفور واستهلاكه في العمليات الحيوية مختلفة وفقاً لنوع المحاصيل المزروعة ويفسر هذا الاختلاف اختلاف المواقع المخصصة للفسفور على الجذور . عموماً فإن تركيز مواقع حمل الفسفور في غرام واحد من جذور النبات يزداد مع صغر قطر الجذر أي مع زيادة المساحة السطحية للجذور . فقد اشار (Noggle & Fried, 1960) بعد دراسته الى خصائص ثلاث ثباتات في امتصاص الفسفور من محلول غذائي يحتوي على الفسفور (الشكل 10) :

وبهذا فإن قدرة المحاصيل المدروسة تختلف في الكمية الممتصة من الفسفور بعد فترة زمنية ثابتة كالآتي : الدخن < الشعير < الجت . ويرجع سبب ذلك الى صغر قطر المجموع الجذري للدخن بالمقارنة بجذور الشعير ، ولهذا تكون المساحة السطحية وتركيز مواقع حمل الفسفور في الدخن اكبر .

وتفسر القدرة المختلفة للمحاصيل على امتصاص الفسفور ايضاً بتغير نشاط ايونات الهايدروجين والكالسيوم في المنطقة القريبة من سطح الجذر وفقاً لنوع المحصول المزروع . وهناك آراء عديدة تفسر سبب اختلاف استجابة المحاصيل للفسفور في مختلف الظروف .



الشكل (10) مقارنة امتصاص الفسفور من قبل محصول الذخن - الشعير والجت من محلول غذائي يحتوي على 15.5 ملغم فوسفور ببيئة P^{32} لكل مليلتر .

إنّ هنالك عوامل عديدة تؤثر بشكل مباشر وغير مباشر على استجابة المحاصيل للتسميد الفوسفاتي مثل قيمة pH الوسط لاحظ (Hendrix, 1967) أنّ استجابة الباقلاء للتسميد الفوسفاتي تأثرت بشكل معنوي بعد رفع pH التربة من 4 إلى 8.7 وبنفس الوقت انخفضت الكمية الممتصة الكلية Total uptake بمقدار 10 اضعاف عما كانت عليه في pH = 4 . كما اشار (Nieman & Clark, 1976) الا ان محاولة ربط الملوحة مع التسميد الفوسفاتي يجعل للملوحة تأثيراً على استفادة النبات من الفسفور ويؤثر على نسبة ATP/ADP مما ينعكس ذلك على الطاقة المتكونة والمتحررة (جدول 8) . والملوحة تؤدي الى زيادة تركيز الفسفور في الاوراق بمقدار اكثر من الضعف مما يؤدي الى تمزق الاوراق وكذلك زيادة كمية Suger phosphate بسبب تقزم النبات وهذا يحدد عملية التركيب الضوئي (جدول 9) .

جدول (8) تأثير الملوحة على استجابة محصول الذرة الصفراء للتسميد الفوسفاتي

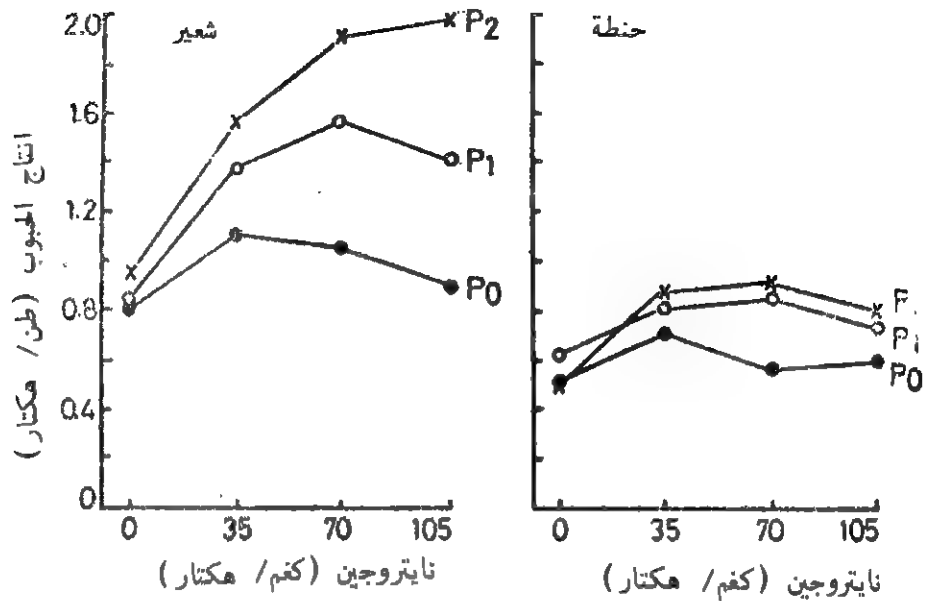
المعاملات	المعاملة القياسية	Control	اضافة املاح	مستوى الفسفور
مستوى الفسفور الواطيء	مستوى الفسفور الواطيء	مستوى الفسفور الواطيء	مستوى الفسفور الواطيء	مستوى الفسفور الواطيء
1.0	1.9	1.1	1.8	
0.79	0.99	1.45	0.26	
$\frac{[ATP]}{[ADP]}$				
$\frac{[ATP]}{[ADP] \times [Pi]} \times 10^{-3}$				

جدول (9) تأثير الملوحة على استجابة الذرة الصفراء للتسميد الفوسفاتي

(Nieman & Clark, 1979)

المعاملة	الوزن الطري / 2 نبات	تركيز الفسفور المعدني [Pi] مايكرومول / 100 غرام وزن طري
المعاملة القياسية / المستوى الواطيء من الفسفور	1101	4.7
المستوى العالي من الفسفور	2259	13.6
المعاملة الملحية / المستوى الواطيء من الفسفور	549	28.4
المستوى العالي من الفسفور	252	37.5

وقد اشار (Orphanos, 1983) الى ان للتسميد النايروجيني تأثيراً إيجابياً على كفاءة استجابة المحاصيل للفسفور (الشكل 11). يشجع النايروجين نمو المجموع الجذري وبذلك تزداد قدرته للوصول الى مواقع الفسفور الذي يمتاز بقلّة حركته في التربة.



الشكل (11) تأثير اضافة النايروجين على استجابة محصولي الحنطة والشعير للفسفور (Orphanos, 1983).

اعراض نقص الفسفور

يعدُّ الفسفور عنصراً متحركاً داخل النبات لذا فإن أعراض نقصه تظهر على الاوراق القديمة أولاً . وتتميز الاعراض اللونية باصفرار الاوراق مع تحول اللون الى ارجواني محمر وغالباً ما يتلون الساق بلون احمر أو قرمزي بسبب تكوين صبغة anthocyanin .

إن نقص الفسفور يعني نقص الطاقة اللازمة لمختلف العمليات الحيوية مما ينعكس ذلك سلباً على عمليات مهمة مثل تكوين البروتينات والاحماض النووية nucleic acids ، وهذا بالطبع له تأثيره على النمو . إن نقص الفسفور يؤدي الى صغر الساق ونحافته وصغر الاوراق مما يؤدي ذلك الى تحديد النمو وبذلك تكون

نسبة $\frac{\text{وزن الجزء الخضري}}{\text{وزن الجذور}}$ قليلة . كما يساهم نقص هذا العنصر في خفض انتاج الثمار

والحبوب وهذا يؤكد أنَّ النقص يؤدي الى تأخر النمو ورداءة النوعية . وغالباً ما يكون محتوى الفسفور في المادة الجافة لنبات يعاني من النقص أقل من 0.1% .

وإن الكمية المعبرة عن حدود الكفاية تختلف وفقاً لنوع النبات ومراحل النمو .
وبشكل خاص فإن محتوى أجزاء النبات من الفسفور يقل مع تقدم النبات بالعمر .
وجداول (10) يبين الحدود المختلفة لمحتوى بعض النباتات من الفسفور في مراحل نمو محددة .

جدول (10) الحدود المختلفة لمحتوى بعض النباتات من الفسفور

نقص	قليل	كفاية	عالي	سنية
أوراق الذرة الصفراء اقل 0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	0.5-0.8	اكبر من 0.8
في مراحل النضج				
أوراق التفاح -	أقل من 0.15	0.15-0.3	اكبر من 0.3	

الاسمدة الفوسفاتية

يعتبر صخر الفسفور rock phosphate المصدر الأساسي في صناعة معظم
الاسمدة الفوسفاتية . وكما هو معروف فإن هذا المصدر يتوفر بالتربة بصورة متعددة
هي كاربونات وكلوريدات وفلوريدات وهيدروكسيدات الاباتيت $Ca_{10}(PO_4)_6$
[$CO_3(F, Cl, OH)_2$] . والاساس العام في استخدام هذا المصدر لغرض
تصنيع الاسمدة يبنى على تحطيم أو آصر الاباتيت apatite bonds إما بمعاملة
بالحامض وإما بالتسخين وبذلك يتحول الفسفور الى صورة اكثر ذوباناً . وسنحاول
مناقشة خصائص الاسمدة الفوسفاتية الشائعة الاستعمال وطريقة صناعتها وهي : -

1- حامض الفسفوريك phosphoric acid

يصنع حامض الفسفوريك من معاملة صخر الفوسفات مع حامض الكبريتيك
المركز ويطلق على هذه بالطريقة الرطبة Wet Process أو الحامض الأخضر
green acid كما تصفه المعادلة الآتية طبيعة التحضير :



جبس

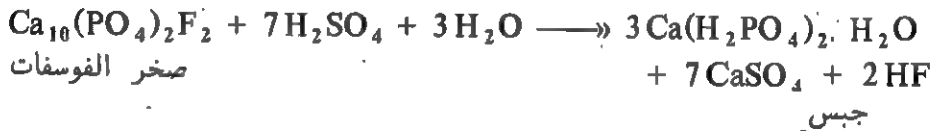


ويمتاز الحامض المحضر بهذه الطريقة بلونه الأخضر لاحتوائه على شوائب مثل الفاناديوم Vanadium. يعزل الجبس بالترشيح ويبقى الحامض المخفف يحتوي P_2O_5 32% وقد يركز بالتبخير الى $(52-55\% PO_5)$ وحديثاً تم تصنيع هذا السماد بصورة اكثر تركيزاً ليكافئ $(80-83\% P_2O_5)$.

ومن أهم ميزات هذا السماد هو رخص وحدة خامس اوكسيد الفسفور المصنعة كما يستخدم في صناعة الاسمدة المختلفة وبالأخص الاسمدة النايروجينية التي تحتوي على صورة الامونيوم مثل سماد بولي فوسفات الامونيوم ammonium polyphosphate وبعض الاسمدة السائلة.

3- سماد السوبر فوسفات العادي Ordinary Superphosphate

يصنع هذا السماد من اذابة صخر الفوسفات بواسطة حامض الكبريتيك المركز إذ سيتكون خليط من فوسفات احادي الكالسيوم والجبس كالآتي



يحتوي هذا السماد على 7-9.5% فسفور أي 16-22% خامس اوكسيد الفسفور وحوالي 90% من محتواه الفوسفاتي ذائباً بالماء أي بحالة جاهزة - وتحتوي ايضاً على نسبة من الجبس تتراوح بين 8-10% ، لذا يفضل اضافته الى الترب الفقيرة بالكبريت أو الترب الصودية Sodic Soils ويستخدم هذا السماد غالباً في الخلط مع الاسمدة الأخرى النايروجينية والبوتاسية لتصنيع الاسمدة المركبة وفقاً للنسب المطلوبة تعاد تركيبة الخليط بأضافة مواد مساعدة للتبلور.

4- سماد السوبر فوسفات المركز (الثلاثي)

Concentrated superphosphate (triple) fertilizer

يصنع هذا السماد من تفاعل صخر الفوسفات مع حامض الفسفوريك الابيض (White acid). ويحتوي هذا السماد على 19-23% فسفور اي حوالي 44-52% خامس اوكسيد الفسفور وحوالي 95-98% منه ذائب بالماء ويمكن تصنيفه بالكمية الجاهزة. ولقد بدأت صناعة هذا السماد في الولايات المتحدة الامريكية في عام 1900 م ولكن لم ينتشر بشكل واسع حتى عام 1930 م. يحتوي هذا السماد على

أقل من 3% كبريت وهذه الكمية بالطبع غير كافية لتجهيز النبات النامي في الترب الفقيرة بالكبريت. إن هذا السماد يضاف ببيئة حبيبات الى التربة مباشرة وقد يخلط مع مواد لائحة ليكون بلورات ذات احجام مختلفة. ويختلف محتوى مكونات هذا السماد وفقاً لطريقة التصنيع ، فقد أشار (Sauchelli, 1965) في كتابه Phosphates in Agriculture الى معدل مكونات سماد السوبرفوسفات الثلاثي (جدول 11) المصنع في الولايات المتحدة الامريكية .

جدول (11) معدل مكونات (%) سماد السوبرفوسفات المركز

المكونات	%
فوسفات احادي الكالسيوم	ذائبة بالماء
فوسفات ثنائي الكالسيوم (بالاضافة الى معقدات الالمنيوم والحديد الفوسفاتية)	غير ذائبة بالماء
جسيمات الفسفوريك	الفسفور
الفسفور الحامل unreacted P	الجاهز
جسيمات	الفسفور
سيليكات - مادة عضوية - فلوريد السيليكون	غير الجاهز
الرطوبة	

ويستخدم هذا الحامض بفض النظر عن محتواه من الشوائب في صناعة الاسمدة الفوسفاتية . وقد يستخدم مباشرة كسماد يضاف الى الترب المختلفة الخصائص . وغالباً ما يفضل إضافة هذا الحامض ببيئة جور band الى الترب الكلسية Calcareous soils وبذلك يساعد بنفس الوقت على زيادة جاهزية بعض العناصر الغذائية الصغرى مثل الزنك والحديد والمنغنيز من خلال تأثيراته على pH التربة . هذا مع كونه سائلاً يمكن استخدامه بسهولة بعد الزراعة . وعند مقارنته مع الاسمدة الفوسفاتية الأخرى نجد الكثيرين يتعاملون بجذر في اضافته للترب واعتماده كسماد جيد ومناسب لختلف الترب والظروف .

وقد يحضر هذا الحامض من حرق عنصر الفسفور elemental-P في فرن كهربائي فيتأكسد الى خامس اوكسيد الفوسفات بالتفاعل مع الماء ، ويطلق على الحامض المحضر بهذه الطريقة بالحامض الابيض White acid مع الماء ، ويطلق على الحامض المحضر بهذه الطريقة بالحامض الابيض White acid بسبب عدم وجود الشوائب ويستخدم هذا الحامض غالباً في صناعة الاسمدة السائلة كما يمكن

ايضاً اضافته الى التربة مباشرة وبالاخص الترب الكلسية والقاعدية بالرغم من الاحتياج الى قدرة فنية خاصة .

2- حامض السوبرفوسفات Superphosphate acid

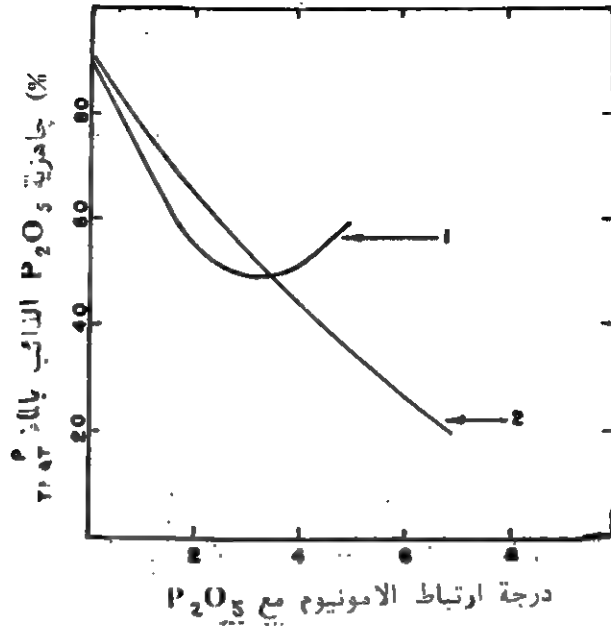
يصنع هذا السماد من تبخير حامض الفوسفوريك الابيض White acid وتركيزه ولذلك يحتوي على (P 33-37% أي P_2O_5 76-85%) . وقد يصنع من حامض الفوسفوريك الأخضر الرخيص (green acid) ولذلك يحتوي على (P_2O_5 52-55%) .

3- سماد السوبرفوسفات المشبع Enriched superphosphate

يصنع هذا السماد من معاملة صخر الفسفور مع خليط من حامض الكبريتيك والفسفوريك . ويحتوي هذا السماد على 11-13% فسفور اي حوالي 25-30% خامس اوكسيد الفسفور وحوالي 90-95% ذائب بالماء . ويمكن اعتبار هذا السماد خليط من فوسفات احادي الكالسيوم والجبس وقد تصل نسبة محتوى الأخير الى 50% .

6- سماد سوبرفوسفات الامونيوم Ammoniated Superphosphate

يصنع هذا السماد من معاء مونيا السائلة مع إما سماد السوبرفوسفات العادي او الثلاثي وبهذا ترتبط الامونيا بدرجات مختلفة بوحدة السماد ، ولهذا تأثير على محتوى الفسفور الذائب بالماء ويكون محتوى الفسفور الذائب بالماء من السماد المصنع مع السوبرفوسفات الثلاثي اكثر من محتوى السماد المصنع مع السوبرفوسفات العادي غالباً (الشكل 12) .



الشكل (12) تأثير درجات ربط الامونيا على اذابة السوبرفوسفات بالماء (1) الثلاثي (2) العادي (Sauchelli, 1965).

7- سماد فوسفات احادي الامونيوم Monoammonium phosphate

يصنع هذا السماد من معاملة الامونيا مع حامض الفسفوريك وفقاً للآتي



وهذا السماد ذائب بالماء وله تأثير حامضي على التربة بسبب محتواه من الامونيا . يحتوي هذا السماد على 11% نايتروجين و 48% خامس اوكسيد الفسفور (21% فسفور) اي أن الصيغة العامة لهذا السماد هي 11:48:0 . يضاف هذا السماد مباشرة للتربة بهيئته المصنعة على شكل حبيبات granular form . وقد يصنع بهيئة سائل ويضاف مع ماء الري .

8- سماد فوسفات ثنائي الامونيوم Diammonium phosphate

يصنع هذا السماد من معاملة الامونيا مع حامض الفسفوريك وفقاً للآتي :



وهذا السماد ذائب بالماء ويحتوي على 16% نايتروجين و 48% خامس اوكسيد الفسفور (21% فسفور) والصيغة العامة 16:48:0. يضاف هذا السماد مباشرة الى التربة وهو ذو تأثير متعادل على التربة لذا فإنه يمكن ان يضاف وقت الزراعة خلطاً مع البذور. وسنحاول التطرق لتفاعلات هذه الأسمدة لاحقاً وذلك لأهميتها وكثرة استعمالها.

وقد تصنع اسمدة اخرى من تفاعل الامونيا مع الحوامض المركزة واهمها سماد فوسفات وكبريتات الامونيوم $\text{Ammonium phosphate-sulphate}$ الذي يصنع من معاملة الامونيا مع خليط من حامض الكبريتك والفسفوريك ليكون السماد الذي يحتوي على 20% خامس اوكسيد الفسفور (8.6% فسفور) و 16% نايتروجين اي يمثل الصيغة التالية (16:20:0) وهو سماد ذائب بالماء.

9- سماد فوسفات النترك Nitric phosphate

يصنع هذا السماد من تفاعل حامض النترك مع صخر الفوسفات ثم تضاف الى النواتج المتكونة كمية من حامض الكبريتك او الفسفوريك او املاح الكبريتات وذلك لمنع التأثير التميئي لنواتج التفاعل الاولي نترات الكالسيوم وتحويله الى كبريتات الكالسيوم او فوسفات الكالسيوم او يزال الكالسيوم بتفاعله مع ثاني اوكسيد الكربون ليترسب بهيئة كاربونات الكالسيوم. نسبة $\text{N:P}_2\text{O}_5$ في هذا السماد تتراوح بين 1:1 الى 1:3 وان حوالي 40-60% من الفسفور ذائب بالماء بالمقارنة مع محتوى سماد السوبرفوسفات ويكثر استعمال هذا السماد في أوروبا فهو ذو كفاءة عالية في الترب الحامضية.

10- اسمدة فوسفات البوتاسيوم $\text{Potassium phosphate}$

سنحاول هنا جمع اسمدة فوسفات البوتاسيوم وسنركز على سماد فوسفات احادي البوتاسيوم KH_2PO_4 وسماد فوسفات ثنائي البوتاسيوم K_2HPO_4 إذ يحتوي السماد الاول على 22% فسفور و 29% بوتاسيوم (35-52-0)، اما الثاني فيحتوي على 18% فسفور و 45% بوتاسيوم (54-41-0). إن هذه الاسمدة ذائبة بالماء ولها اهمية خاصة بسبب محتواها العالي من الفسفور والبوتاسيوم.

سنكتفي بهذا العدد من الاسمدة الفوسفاتية رغم وجود انواع اخرى بعضها شائعة التداول مثل سماد فوسفات ثنائي الكالسيوم $\text{Dicalcium phosphate}$ fertilizer والاسمدة الفوسفاتية المركبة (بالاشتراك مع النايتروجين او البوتاسيوم او عناصر غذائية اخرى). كما تتوفر بعض الاسمدة الفوسفاتية البايولوجية مثل،

Soil microorganisms وهي عبارة عن احياء تربة دقيقة Phosphobacterin تساهم في زيادة جاهزية الفسفور الاصلي بالتربة أو المضاف . أما اسمدة polyphosphate فقد زاد انتشارها مؤخراً في اوربا وذلك لحتواها العالي من الفسفور ولكفائتها ومن هذه الاسمدة سماد Calcium polyphosphate و Ammonium polyphosphate .

تفاعلات الأسمدة الفوسفاتية

سنتناول تفاعلات بعض الأسمدة الفوسفاتية الشائعة الاستعمال مع إيضاح بالأمثلة لتأثير بعض خصائص الترب على سير التفاعل ونواتجه .

1- تفاعل سماد السوبر فوسفات العادي والمركز

إن الوحدة الرئيسية في سماد السوبر فوسفات هي فوسفات احادي الكالسيوم $[\text{monocalcium phosphate } \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$. ودعنا نفترض ان جيبة السماد قد أضيفت الى سطح التربة (الشكل 13) فسنجد أن الماء يتحرك الى جيبة السماد من الوسط المحيط بالجيبة مما يؤدي الى ذوبان الوحدة الرئيسية للسماد $\text{monocalcium phosphate (MCP)}$. وينطلق المحلول المتكون من داخل الجيبة الى الوسط المحيط مما يعمل على اذابة بعض مكونات التربة وتحرير ايونات موجبة مختلفة ويرجع سبب ذلك الى الحموضة العالية ($\text{pH} = 1.48$) التي يتناز بها المحلول الذي يطلق عليه $\text{metastable friple point solution (MTPS)}$ أي المحلول غير المستقر ويصفه البعض بأنه حامض الفسفوريك ناتج التفاعل الثاني عبارة عن راسب من فوسفات ثاني الكالسيوم $\text{Dicalcium phosphate}$ dihydrate (DCPD) . ويمكن وصف التفاعل بالآتي : —

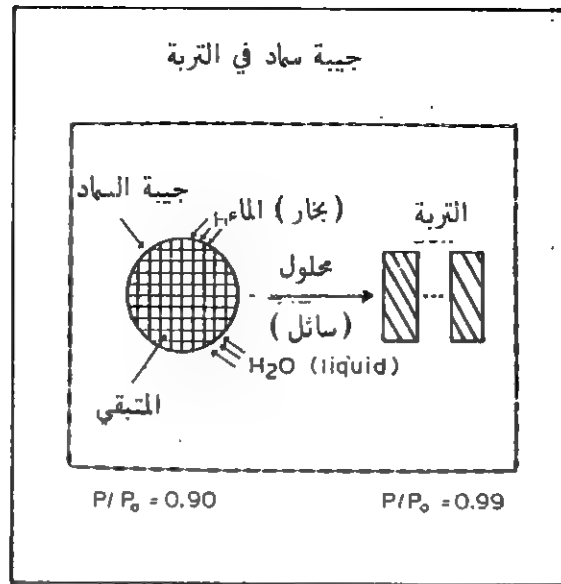


كما يمكن أن تكتب كالاتي



وبعد فترة زمنية قصيرة يتحول التفاعل السابق ليكون النواتج الآتية

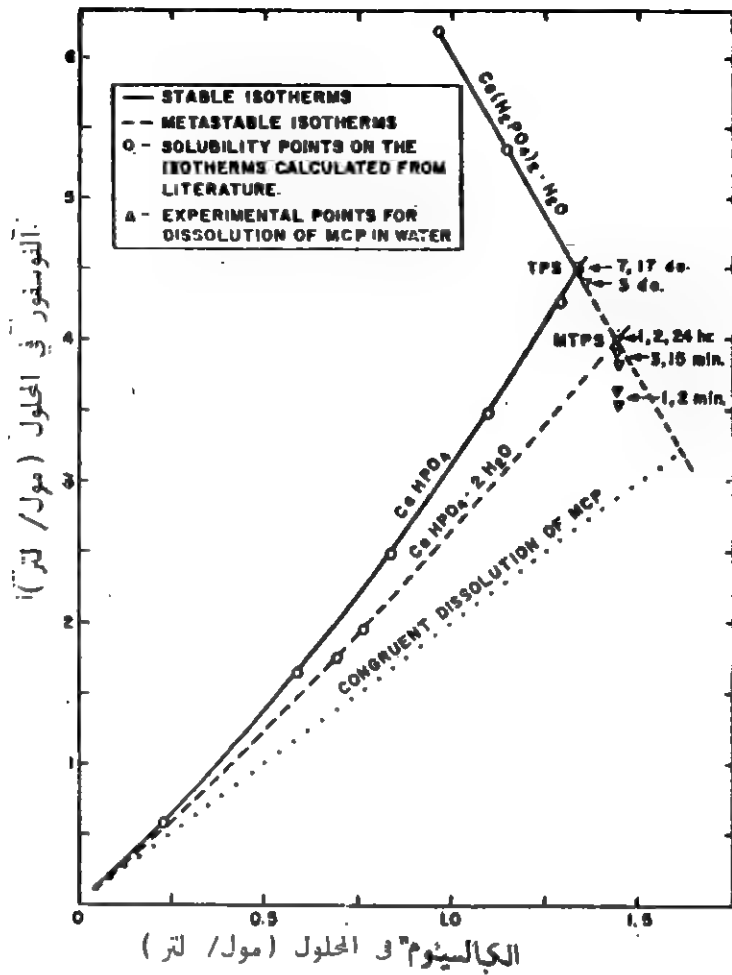




الشكل (13) تحلل جبية سماد السوبرفوسفات وتكوين MTPS و DCPD .

إذ TPS عبارة عن (Stable Triple point solution) وإن قيمة pH هذا المحلول محدود 1.01 وان x تمثل عدد جزيئات الماء اللازمة للتفاعل والتي لا تتجاوز 13.3 مول مكافئة الى مول واحد من DCPD . وقد اوضح (Lindsay and Stephenson, 1959) بأن التفاعل الاول يتكون بعد ساعة واحدة وتبقى كحد ادنى لمدة اكثر من 24 ساعة ثم يتحول ببطيء ليكون TPS وهذا المحلول الحامضي يبقى ثابتاً لفترة تزيد عن 17 يوماً كما يوضح ذلك الشكل (14) .

ولو حاولنا أن نميز بين تركيب (MTPS) وبين (TPS) فإنه يمكن الرجوع الى النتائج التي توصل اليها (Lindsay & Stephenson, 1959) الموضحة في (جدول 12) . وقد يوصف المحلول (MTPS) بأنه عبارة عن حامض الفسفوريك المتحرر من التفاعل وان تكوين (TPS) يعني تحرير المزيد من حامض الفسفوريك مما يساهم في خفض pH الوسط الى 1.01 .



الشكل (14) منحني اذابة وتحلل MCP في نظام $\text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{H}_2\text{O}$ عند درجة 25 م (Lindsay & Stephenson, 1959).

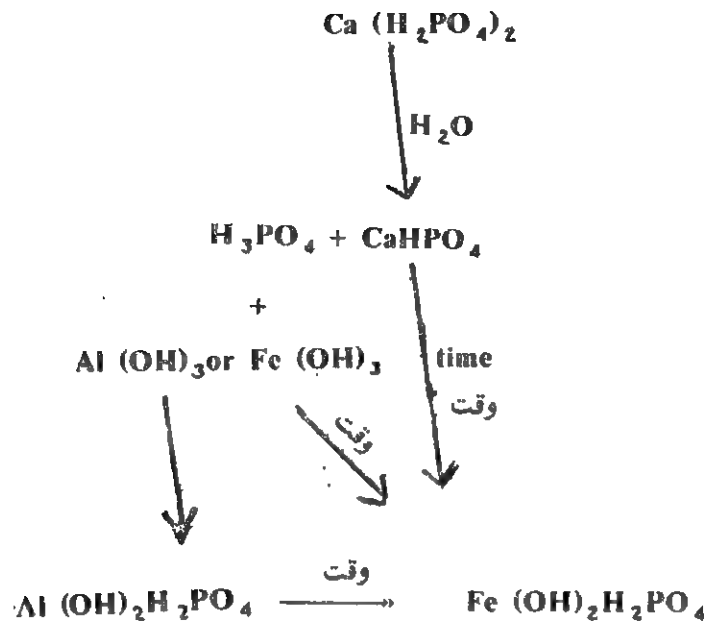
جدول (12) التركيب الكيماوي الى (MTPS) و (TPS).

التركيز (مول / لتر)			المركب
Ca	P	pH	
1.44	3.98	1.48	MTPS
1.34	4.49	1.01	TPS

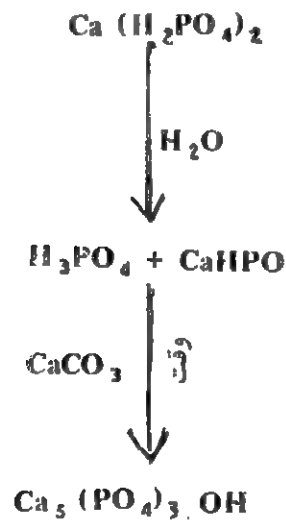
لقد درس (Brown and Lehr, 1959) تفاعل سماد فوسفات احادي الكالسيوم المائية (السوبرفوسفات) في التربة ووجدوا بأن المركبين DCP و DCPD مترسبة في موقع السماد fertilizer site. وإن المركب DCPD اكثر ذوباناً من DCP ، كما لاحظنا أنَّ الحموضة العالية نتيجة تكوين (MTPS) و (TPS) تتحرك في التربة وتؤدي الى اذابة الكثير من العناصر المعدنية مثل Ca و Mn و Al و Fe وهذه بالتالي تتفاعل مع الفسفور مكونة رواسب مختلفة وقد أيد هذا الرأي (Lindsay et al. 1959). لقد أختبرنا تفاعل سماد السوبرفوسفات (Awad, 1985) في تربة رسوبية (25% كاربونات الكالسيوم) وتربة صحراوية (14% كاربونات الكالسيوم) فأوضحت نتائج تفاعلات الاذابة ، انه مع زيادة مستوى الفسفور المضاف (من 0 — 400 كغم P_2O_5 / هكتار) .

تكون صورة فوسفات ثنائي الكالسيوم هي الصورة الرئيسية المتحكم في ذوبان الفسفور بالترب المدروسة وتتحول هذه الصورة مع مرور الوقت الى صورة فوسفات ثنائي الكالسيوم . إن احتمال تكوين صورة الهيدروكسي ابتايت خلال سلسلة التفاعل احتمال ضعيف ويرجع السبب الى بطيء معدل تكوينها تحت ظروف التجربة (الشكل - 4 والشكل - 5) . وتعتبر صورة فوسفات ثنائي الكالسيوم الناتج الرئيسي في جميع الترب التي عوملت بمستوى عالي من الفسفور (4000 كغم P_2O_5 / هكتار) وإن مقاومة هذه الصورة عالية للبقاء في الترب القليلة المحتوى من الاملاح أو الكاربونات الصلبة كما أن اضافة مادة الجبس بعد ازالة الاملاح من الترب يخفض الى حد ما اذابة الفسفور مقارنة بنفس المعاملة ولكن بدون اضافة الجبس الى نفس الترب المغسولة .

لقد لاحظ (Lehr and Brown, 1958) إن ناتج التفاعل الرئيسي في الترب الكلسية هو فوسفات ثنائي الكالسيوم الذي سرعان ما يتحول الى صور أخرى أقل ذوباناً مع الوقت . وقد تبين التفاعلات التالية هي السائدة في ظروف التجربة و DCPA —» DCPD; DCPD —» HAP. MCP —» OCP و HAP —» DCPD; DCPD —» OCP وهنالك العديد من الدراسات في الترب الكلسية Calcareous soils والترب المتعادلة والقلوية والحامضية ايضاً التي تبين طبيعة تفاعلات سماد السوبرفوسفات وأشار (Thomas & Peaslee, 1973) الى نمط هذه التفاعلات الشكل (15)



(أ) التربة المتعادلة والحامضية Acid and Neutral Soils



(ب) التربة الكلسية Calcareous Soils

الشكل (15) تفاعلات فوسفات احادي الكالسيوم (أ) في التربة الحامضية والمتعادلة و (ب) الكلسية.

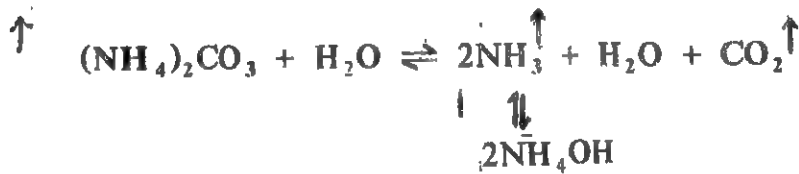
2- تفاعلات أسمدة فوسفات الامونيوم

سنركز هنا على تفاعلات بعض الأسمدة التي تحتوي على النايتروجين بصورة امونيوم وعلى الفسفور مثل سماد فوسفات ثنائي الامونيوم وفوسفات احادي الامونيوم وغيرها من الأسمدة المركبة المصنعة من الوحدتين المذكورة اعلاه . وبشكل عام فإن دراسة تفاعل مثل هذه الأسمدة يتطلب دراسة العلاقة بين تدهور الفسفور وتطاير الامونيا بالاضافة الى خصائص السماد الأخرى والتي لها تأثير جوهري على نواتج تفاعل السماد المضاف .

لنبدأ دراسة تفاعلات سماد فوسفات ثنائي الامونيوم ونشير الى رأي (Fenn & Kissel, 1973) في وصف التفاعل في الترب الكلسية وهي كالآتي :



وكما سبق أن اوضحنا بأن الناتج كاربونات الامونيوم قلق ويتحلل وفقاً للآتي :



وبهذا لا بد من مناقشة العلاقة بين تدهور الفسفور بعد تكوين DCPD وتطاير الامونيا بعد تكوين كاربونات الامونيوم بعد الافتراض وإن ما أورده (Fenn & Kissel 1973) من وصف للتفاعل صحيح خصوصاً وإن الباحثين اشاروا الى أن معدل تطاير الامونيا بعد ساعة واحدة من اضافة السماد للتربة كان 1.8% وقد ارتفعت النسبة بعد 100 ساعة لتكون 51% من الكمية الكلية المضافة . وقد اكد (Fenn & Escarzaga, 1976) ظاهرة التطاير للامونيا من سماد فوسفات ثنائي الامونيوم وكذلك فوسفات احادي الامونيوم . وقد حاولنا دراسة العلاقة بين تطاير الامونيا وتركيز الفسفور الذائب في ترب مختلفة المحتوى من كاربونات الكالسيوم أيضاً (جدول 13; Awad, 1978) . وتشير النتائج الى أن اضافة السماد الى السطح يؤدي الى زيادة في الامونيا المتطايرة وتركيز الفسفور الذائب اذا قورنت بالاضافة تحت السطحية أو الخلط (الشكل 18) .

يمكن القول بأن هنالك علاقة سالبة بين تركيز الفسفور الذائب والامونيا المتطايرة وإن هذه العلاقة تتأثر بطريقة اضافة السماد . أما (Terman and Hunt, 1964) فقد اشاروا الى تكوين DCPD. كنتاج لتفاعل سماد فوسفات

الامونيوم ويتحول هذا المركب ليصل في سلسلة تفاعله الى المركب الاكثر استقراراً الذي هو apatite وتلعب الرطوبة دوراً في التأثير على سير التفاعل .

ولابد من القول أيضاً ان سماد فوسفات ثنائي الامونيوم ذو تأثير متعادل على خصائص التربة إذ ان pH المحلول المشبع منه يساوي 7.98 (جدول 13) ولهذا فإننا يجب أن لا نتوقع تكوين العديد من الرواسب بعد إضافة السماد . وللمقارنة مع سماد فوسفات أحادي الامونيوم الحامضي التفاعل ($pH = 4$) فإن نواتج تفاعل هذا السماد عديدة بسبب اذابته لبعض الكاتيونات . وعند دراسة تفاعلات سماد فوسفات احادي الامونيوم يمكن القول بأن المعادلة السابقة التي وصف تفاعل سماد فوسفات ثنائي الامونيوم يمكن أن تكون معبرة عن طبيعة تفاعل هذا السماد . فقد اشار (Beaton & Read, 1963) الى أن جاهزية الأسمدة تشير وفقاً للترتيب :

فوسفات احادي الامونيوم < فوسفات ثنائي < فوسفات احادي < فوسفات ثنائي
الامونيوم < الكالسيوم < الكالسيوم

كما تبين من العديد من التجارب إن جاهزية DCPD المتكون من تفاعل سماد فوسفات احادي الامونيوم اكثر من جاهزية DCPD المتكون من تفاعل سماد فوسفات ثنائي الامونيوم وقد يرجع سبب ذلك الى تأثير هذه الأسمدة على pH الترب بعد الاضافة . ويعتبر سماد فوسفات احادي الامونيوم أفضل من السماد الثنائي للترب الكلسية رغم كون السامدين بالماء بنفس الدرجة (Tisdale and Nelson, 1975) .

طريقة وموعد اضافة الاسمدة الفوسفاتية

يمكن تقسيم الاسمدة الفوسفاتية الى ثلاث مجاميع هامة وفقاً لطبيعتها اذابتها وهي :

- 1- الاسمدة الذائبة بالماء (Water soluble) .
- 2- الاسمدة البطيئة الذوبان بالماء ولكن تذوب في محلول السترات (Citrate-soluble phosphates)
- 3- الاسمدة البطيئة الذوبان بالماء والسترات

وينظر للاسمدة الذائبة بالماء وبحلول السترات بأنها تمثل الصور الجاهزة للفسفور ولكن قدرة النباتات على الاستفادة من هذه الصور تحددها ظروف أخرى مثل

جدول (13) العلاقة بين تركيز الفسفور في محلول التربة وتطابير الامونيا بعد إضافة ساد فوسفات ثنائي الامونيوم لترتين ذات محتوى مختلف من كاربونات الكالسيوم (Awad, 1978).

الترية	الماد	الزمن (ساعة)	الامونيا المقودة (%)	الطوية (%)	pH	الفسفور الذائب ppm
الزيجية الطينية 39% CaCO_3	فوسفات ثنائي الامونيوم (4900) جزء في المليون فسفور	10 20 30 40 50 60	2.1 4.6 7.4 9.7 11.3 14.8	21.3 18.7 14.5 9.8 5.4 3.5	8.59 8.51 8.31 8.27 8.28 8.39	76.7 66.7 61.7 59.1 39.1 33.3
الرملية الزيجية 41% CaCO_3	فوسفات ثنائي الامونيوم (4900) جزء في المليون	10 20 30 40 50 60	0.1 0.6 1.6 2.3 3.3 4.2	34.1 32.0 28.4 24.0 21.3 17.7	8.21 8.19 8.13 8.19 8.01 7.96	462.5 400.0 311.3 262.5 203.1 187.5

طريقة اضافة السماد وغيرها . لذا فإن موعد اضافة السماد الفوسفاتي وطريقته يتحدد وفقاً للعوامل الآتية : -

- 1- احتياج النبات وطول موسم النمو
- 2- طبيعة اذابة السماد .
- 3- حجم حبيبة السماد
- 4- الايون المرافق للفسفور
- 5- خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية

يحتاج النبات الفسفور منذ بداية النمو لمساهمة الفعالة في مختلف العمليات الحيوية . ويستمر الاحتياج حتى تكوين الثار ودخول النبات مرحلة النضج لاعتباره عاملاً مؤثراً في الاحتياج العام للطاقة وبناء الانسجة المختلفة . ومن المعروف عادة إن الاسمدة الفوسفاتية تضاف قبل الزراعة بفترة قصيرة تتجاوزاً للاضرار السلبية التي قد يؤثر ناتج تفاعل السماد مثل $MTPS$ الحامضي على البذور أو أي جزء من النبات . ويمكن أن يضاف سماد السوبرفوسفات المركز أو غيره من الاسمدة بعد الزراعة ولكن يحتاج هنا الخبرة الدقيقة لتجاوز الاضرار الجانبية على النبات . ووفقاً لنوع المحصول وطول موسم النمو يتحدد وقت إضافة السماد بالاضافة الى تأثير طبيعة اذابة السماد وحجم حبيباته وخصائص التربة وما تحتويه من مكونات تساهم في تدهور السماد . وغالباً ما تضاف الاسمدة الفوسفاتية دفعة واحدة قبل الزراعة وقد تضاف كميات محددة بعد الزراعة لمعالجة ظواهر النقص .

اشار بعض الباحثين الى إن معدل احتياج النبات للفسفور خلال فترة حياته لا تتجاوز ١ كغم فسفور / هكتار / يوم . وإن محتوى التربة من الفسفور الجاهز وقدرة التربة التنظيمية للفسفور $Phosphate\ buffering\ Capacity$ وكذلك قدرة التربة على المحافظة على الفسفور المضاف بصورة جاهزة (أي خصائص التربة المؤثرة على جاهزية الفسفور) تحدد الكمية المطلوب إضافتها بعد تحديد نوع المحصول وفترة نموه . وبشكل عام يضاف 10-50 % من الاحتياج المطلوب غالباً الى أي محصول كمحاولة لتعويض الكمية التي تتدهور بفعل التفاعل مع مكونات التربة .

وعموماً فإن 20-80 كغم فسفور / هكتار هي الكمية التي تضاف وفقاً لنوع المحصول . فغالباً ما تحتاج البقوليات والحبوب والبنجر السكري الى كمية كبيرة من الفسفور بالمقارنة مع القطن والتبغ واشجار الفاكهة . وإن اضافة كمية كبيرة من الفسفور الى البطاطا يحسن خواص الدرنات .

في الترب الكلسية يفضل اختيار الاسمدة الفوسفاتية العالية الذوبان بالماء والمصنعة بشكل حبيبات كبيرة نسبياً ، كما يحذر إضافتها خلطاً مع التربة لتجاوز حالة التدهور السريع للسماد وقد اشارت الابحاث الى أفضلية إضافة مثل هذه الاسمدة بطريقة التلقيم band الى جانب النبات أو تحته بالمقارنة مع طرق الاضافة الأخرى . وقد يُفضل ايضاً اضافة الاسمدة الذائبة (أقل من 50%) بالماء لمثل هذه الترب بالأخص عندما يكون موسم النمو طويلاً ولا يفضل اختيار الاسمدة المصنعة بهيئة مسحوق والعالية الذوبان الا اذا كان موسم النمو قصيراً ولهذا يمكن استخدام طريقة التلقيم لتقليل حالة الفقد بالترسيب .

وفي الترب الحامضية ذات المحتوى العالي من الاكاسيد والهيدروكسيدات الحرة يفضل اختيار الاسمدة القليلة الذوبان بالماء وإن اختيار الاسمدة الأخرى يتطلب اتباع طريقة مناسبة كالجور لتقليل حالة الفقد بالترسيب ، أو إضافة الاسمدة المصنعة بهيئة حبيبات كبيرة نسبياً . ويمكن القول إن صغر الحجم يؤدي الى زيادة قابلية السماد للذوبان بسبب زيادة المساحة السطحية المعرضة للتفاعل ، لذا فإن اختيار الطريقة المناسبة والسماد المناسب لأي تربة تتحدد من قبل خصائص السماد والتربة ونوعية المحصول المزروع . ويوضح جدول (14) تأثير حجم حبيبة السماد ونوعيته على امتصاص الفسفور من قبل محصول الشوفان .

جدول (14) تأثير حجم حبيبة السماد ونوعيته على امتصاص الفسفور من قبل محصول الشوفان (Bouldin et al. 1960) .

اسم / حجم الحبيبة السماد / ملم	2.0-1.2	0.59-0.42	0.30-0.25
فوسفات احادي الامونيوم	608	423	331
فوسفات ثنائي الكالسيوم	30	90	136

ومن هذه النتائج يمكن التأكيد من جديد إن الاسمدة العالية الذوبان بالماء مثل سماد فوسفات احادي الامونيوم تقل جاهزيتها مع صغر حجم حبيبة السماد المضاف ، لذا يفضل اختيار الاسمدة المصنعة بهيئة حبيبات كبيرة نسبياً . وأما الاسمدة القليلة الذوبان بالماء مثل سماد فوسفات ثنائي الكالسيوم فإن اختيار الاسمدة المصنعة بهيئة حبيبات صغيرة أو مساحيق تزيد من كفاءتها وقدرة النبات على امتصاص الكمية الذائبة منه التي تزداد مع صغر الحجم .

قائمة المصادر

- 1- Abdul-Latif, H. (1975) Ph. D. Thesis, Assiut University EGYPT.
- 2- Adepetu, J.A. (1983) In the 6th International Scientific Conference P. 211.
- 3- Amer, F.; Mahdi, S. and Al Radi, A. (1969) J. Soil Sci. 20: 91-100.
- 4- Anderson, G. (1969) In Soil Biochemistry. PP. 67-90. Dekker, New York.
- 5- Awad, K.M. (1982) Ph. D Thesis. Aberdeen University UK.
- 6- Awad, K.M. (1985) J. Agr. and Water Reso. Resea. 4: 48-53.
- 7- Bates, J.A.R. and Baker, T.C.N. (1960) J. Soil Sci. 11: 257-265.
- 8- Beaton, J.D. and Read, D.W.L. (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 61-65.
- 9- Black, C.A. (1968) Soil-plant relationship. pp. 558-653. 2nd ed. Wiley, New York.
- 10- Brown, W.E. and Lehr, J.R. (1959) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 7-12.
- 11- Buehrer, T.F. (1932) Arizona University Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 42.
- 12- Cole, C.V.; Olsen, S.R. and Scott, C.O. (1953) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17: 352-356.
- 13- Douglas, H.W. and Walker, R.A. (1950) Trans. Faraday Soc. 46: 559-568.
- 14- Fenn, L.B. and Kissel, D.E. (1973) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 855-859.
- 15- Goldschmidt, V.W. (1954) Geochemistry (Oxford Univ. Press) London.
- 16- Griffin, R.A. & Jurinak, J.J. (1973) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 37: 847-850.

- 17- Hendrix, J.E. (1967) Amer. J. Bot. 54: 560-564.
- 18- Holford, I.C.R. and Mattingly, G.E.G. (1975) J. Soil Sci. 26: 407-417.
- 19- Hougland, G.V.C. (1947) J. Agr. Res. 75: 1-18.
- 20- Jackson, P.C. and Hagen, C.E. (1960) Plant Physiol. 35: 326-332.
- 21- Jasim, K.K. (1978) M.Sc. Thesis Sula University.
- 22- Juo, A.S.R. and Boyd, E.G. (1967) Soil Sci. 106: 374-378.
- 23- Kaila A. (1963) Soil Sci. 95: 38-44.
- 24- Lehr, J.R. and Brown, W.E. (1958) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 29-32.
- 25- Lehr, J.R. and van Wesenal, J. ch. (1952) J. Soil Sci. 3: 125-153.
- 26- Lindsay, W.L. (1979) Chemical equilibria in Soils. John Wiley & Sons, New York.
- 27- Lindsay, W.L. & Stephenson, H.F. (1959) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23. 12-18.
- 28- Lipman, J.G. & Conybeare, A. (1939) New Jersey Agr. Exp. Stat. Bull. 607.
- 29- Mattson, S., Alvasaker, E., Koulter-Anderson, E. and Vehtrus, K. (1951) Ann. Roy. Agr. Coll. Sweden 20: 19-50.
- 30- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principle of Plant Nutrition. Int. Potash Inst.
- 31- Metson, A.J. (1961) New Zealand Dept. Soil & Indus. Reser. Soil Bull. No. 12.
- 32- Moreno, E.C.; Brown, W.E. & Osborn, G. (1960) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24- 99-109.
- 32b- Mott, C.J.B. (1970) Annu. Rev. Phyto. Pathol. 11: 171-196.
- 33- Nelson, W.L.; Mehlich, A. and Winter, E. (1953) In Agronomy Monograph No. 4. pp. 153-188. Academic Press.

- 34- Nieman, R.H. and Clark, R.A. (1976) Plant Physio. 57, 157-161.
- 35- Noggle, J.C. and Fried, M (1960) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24: 33-35.
- 36- Olsen, S.R. (1953) Agron. J. 4: 89-122.
- 37- Orphanos, P.I. (1983) 2n 6th International Sci. conf. p. 239.
- 38- Pagel, H. (1983) In 6th International Sci. Conf. P. 165.
- 39- Peroott, K.W. (1979) Soil & fertilizers 42: 224.
- 40- Power, J.F., Grunes, D.L.; Reichman, G.A. and Willis, W.O. (1963) Agron. J. 56: 545-548.
- 41- Rajan, S.S.S. and Fox, R.L. (1972) Comman. in Soil Sci. Plant Anal.
- 42- Russel, E.W. (1973) Soil condition & Plant growth
- 43- Ryden J.C., McLaughlin, J.R. and Syers, J.K. (1977) J. Soil Sci. 28: 72-92.
- 44- Ryden, J.C. and Syers, J.K. (1975) J. Soil Sci. 26: 395-406
- 45- Sauchelli, V. (1965) Phosphates in Agriculture. Reinhold Publ. Co., New York.
- 46- Specht, R.E. (1963) Austr. J. Bot. 11: 67-94.
- 47- Struthers, P.H. and Sieling, D.H. (1950) Soil Sci. 69: 205-213.
- 48- Terman, G.L. and Hunt, C.M. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 667-672.
- 48b- Tisdale, S. & Nelson, W.L. (1975) Soil fertility & fertilizers (3rd ed)
- 49- Thomas, G.T. and Peaslee, D.E. (1973) Testing Soil for phosphorus. P: 115-132.
- 50- Thompson, E.J. (1957) M. Sc. Thesis Iowa State University America.
- 51- Thompson, J.M., Black, C.A. and Zoellner, J.A. (1954) Soil Sci. 77: 185-196.

- 52- Udo, E.J. and Uzo, F.O. (1972) Soil Sci. Soc. Am. Proc.
36: 879-883.
- 53- Walker, R.H. & Brown, P.E. (1966) Soils of Iowa Agric. ,
Expt. Report, 3.
- 54- Wild, A. (1950) J. Soil Sci. 1: 221-238.
- 55- Yamashita, S. and Goto, Y. (1963) Soil Sci. Plant Nutr. 9:
202.

الفصل الرابع

البوتاسيوم Potassium

يعتبر عنصر البوتاسيوم من العناصر الغذائية الكبرى التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة تفوق العناصر الغذائية الاخرى عدا النايروجين ، وقد يفوق احتياجه عنصر النايروجين في بعض مراحل نمو النبات . إن متوسط محتوى انسجة النباتات قد تصل الى 1.5% وقد تزيد احياناً لتصل الى 8% من الوزن الجاف كما يحصل ذلك في انسجة اوراق نبات التبغ ، وعندما يقل عن هذا المعدل ليصل الى 3% تبدأ اعراض نقص البوتاسيوم على اوراق التبغ . تتحدد أهمية البوتاسيوم من خلال وظائفه الفسيولوجية العديدة بالاضافة لمشاركته الفعالة في عمليات التركيب الضوئي photosynthesis وتكوين البروتينات والكاربوهيدريت وامتصاص الماء والعناصر الغذائية ، لذا فإن وفرته بالتربة بصورة جاهزة للامتصاص من قبل النبات تساهم في زيادة انتاجية المحاصيل .

مصادر البوتاسيوم

يشكل البوتاسيوم 0.3-2.5% من المكونات المعدنية للقشرة الارضية (Lindsay, 1979) ، ويوجد البوتاسيوم في المعادن الاولية primary minerals مثل الفلدسبار feldspars والمايكا mica ، كما انه يوجد في المعادن الثانوية Secondary minerals التي تشكل نسبة عالية من اجزاء الطين . لذا فان الترب الغنية بالطين عادة تكون غنية بعنصر البوتاسيوم مقارنة بالترب الرملية .

ومن معادن الترب الثانوية الغنية بعنصر البوتاسيوم هي معادن الأليت Illite والفيرمايكوليت Vermiculite والكلورايت Chlorite (جدول 1) . وينطلق البوتاسيوم من هذه المعادن ليستقر في محلول التربة او في مواقع التبادل الايوني على

أسطح غرويات التربة . فقد اشار (Bear, 1964) الى ان الجزء الاكبر من البوتاسيوم يوجد في المعادن الاولية ، وتعتبر الميكا من اهم المعادن في الترب الزراعية المجهزة للبوتاسيوم وهي توجد في الطين بنسبة لا تقل عن 8% . بينما اشار (Kanwar & Erewal, 1967) الا ان نسبة البوتاسيوم الكلي في مفصولات التربة كما يلي :

الطين < الغريف < الرمل

جدول (1) محتوى المعادن الاولية والثانوية من البوتاسيوم (Scheffer and Schachtschabe, 1976)

المعدن	K ₂ O
Alkali feldspars	4-15
Ca-Na-feldspars	0-3
Muscovite (K-mica)	7-11
Biotite (Mg-mica)	6-10
Illite	4-7
Vermiculite	0-2
Chlorite	0-1
Montmorillonite	0-0.5

ويعتبر الجزء المعدني المصدر الرئيسي للبوتاسيوم الذي ينطلق خلال عملية التجوية . اما مساهمة الجزء العضوي فهي قليلة جداً ، لذا فان محتوى الترب العضوية من البوتاسيوم واطيء فهو محدود 0.03% وهذا الرقم يمكن ان يتغير تبعاً لاختلاف محتوى التربة من المادة العضوية (Baden, 1965)

إن الدراسات حول محتوى الترب العراقية أشارت الى ان الترب غنية في محتواها من البوتاسيوم الكلي ، فقد تراوحت قيمته بين (25.42-37.67) وبين (22.47-35.64) ملي مكافئ / 100 غم تربة (Hussein, 1982) . في حين وجد (Al-Rubai, 1984) ان محتوى بعض نماذج من الترب العراقية تراوح بين (27-39) ملي مكافئ / 100 غرام تربة .

لا يعتمد معدل انطلاق البوتاسيوم من المصادر المعدنية الرئيسية على محتوى البوتاسيوم في المعادن الأولية والثانوية وإنما يتأثر باختلاف التركيب التبايني لهذه المعادن وسرعة تجوئه هذه المعادن. ويعتبر معدن المايكا أكثر قدرة على تحرير البوتاسيوم من المصادر الأخرى ذات المحتوى العالي من البوتاسيوم مثل الفلدسبار. ويرجع سبب ذلك إلى أن تجوئه الفلدسبار تكون على السطح الخارجي إذ يتفكك الفلدسبار بعد ذوبانه بالماء والاحماض الخفيفة بصورة سريعة بالمقارنة مع الحاليل الأخرى مما يؤدي إلى انطلاق عنصر البوتاسيوم وفقاً للمعادلة التالية:



وهذا التحلل يدفع المواد غير المتحللة Al-Si-O أن تعمل على تكوين إطار يحيط بتجمعات الفلدسبار غير المتحللة مما يعرقل استمرار التجوئه. أما ما يحاطل لمعدن المايكا فإن البوتاسيوم ينطلق دون تكسر بناء المعدن وهذه الحالة تعطي المايكا أهمية كمصدر للبوتاسيوم اللازم لتغذية النبات.

توجد المايكا بالتربة بحالتين هي:

(1) مايكا ثنائية الاوكتايدرا Diocahedra mica مثل معدن المسكوفيت Muscovite



(2) مايكا ثلاثية الاوكتايدرا Triocahedra mica مثل معدن البايوتايت Biotite



وقد اشار (Rich, 1972) إلى أن قدرة البوتاسيوم على الانطلاق من مايكا ثلاثية الاوكتايدرا أكبر من قدرته للانطلاق من مايكا ثنائية الاوكتايدرا وقد علل سبب ذلك بـ:

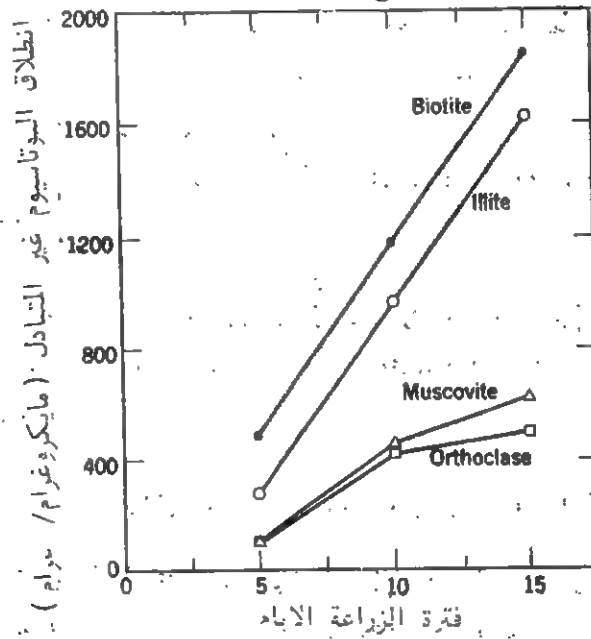
1- القطبية الشائبة لايون (OH⁻) الهايدروكيل

إن ايون الهايدروكيل المرتبط بايون الالمنيوم يخلق وسطاً أكثر سالبية في معادن مايكا ثنائية الاوكتايدرا مما يساعد على زيادة قوة مسك البوتاسيوم بالمقارنة مع معادن مايكا ثلاثية الاوكتايدرا التي تمتاز بأن ايون الهايدروجين يكون عمودياً على ايون الاوكسجين ليكون وحدة ايون الهايدروكيل مما يحجب تأثير الاوكسجين في مسك البوتاسيوم.

(2) ان طبقة الاوكتاهيدرا Octahedral layer مساوية بابعادها لطبقي التتراهيدرا Tetrahedral layers في معادن مايكا ثلاثية الاوكتاهيدرا . بينما تكون طبقات التتراهيدرا اطول من الاوكتاهيدرا في معادن مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا مما تساعد على حجب تحرر البوتاسيوم وعرقلة من بين طبقات معادن مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا . وهذا يكون قدرة المعادن على تحرر البوتاسيوم كالاتي :

البايوتايت < المسكوفيت < الفلدسبار

وقد اكد (Verma, 1963) اختلاف قدرة معادن المايكا فيما بينها في تحرر البوتاسيوم من جهة ومقارنة ذلك مع الفلدسبار من جهة اخرى (الشكل 1) .



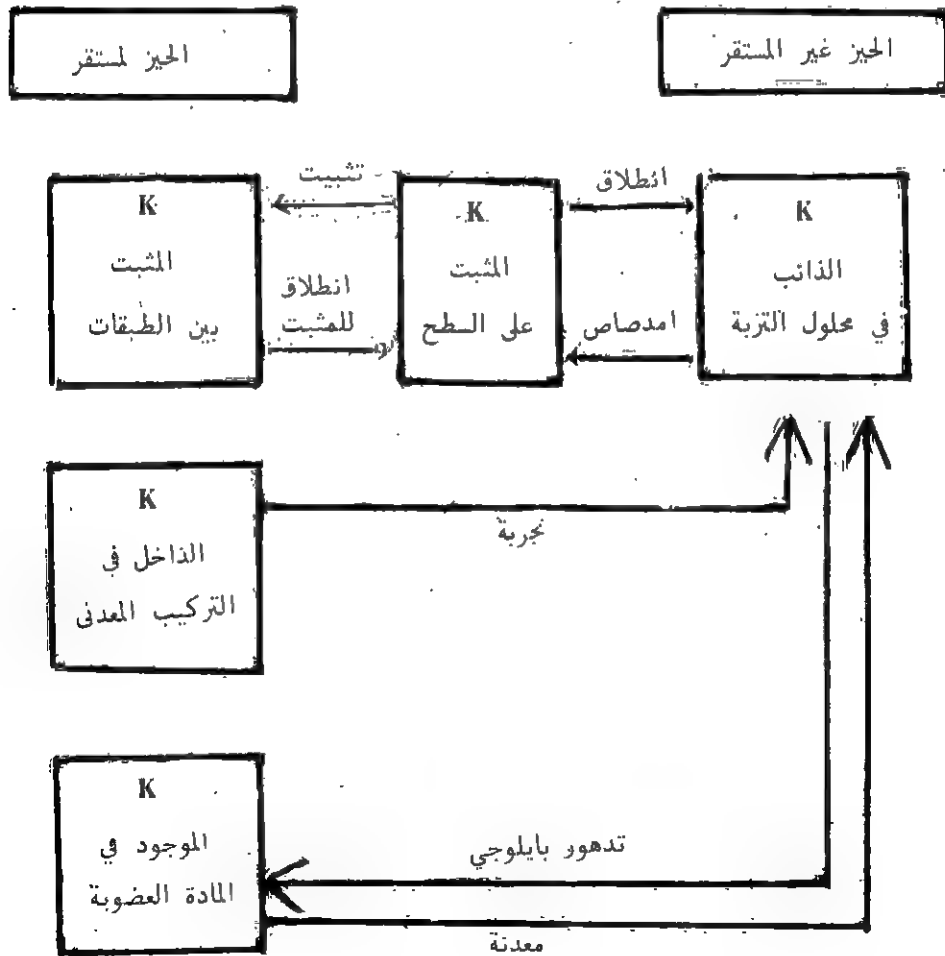
الشكل (1) تحرر البوتاسيوم المعدني من معادن مختلفة خلال فترة نمو المحاصيل الزراعية (Verma, 1963)

صور البوتاسيوم في التربة .

يوجد البوتاسيوم في التربة بأشكال متعددة ويمكن تقسيم بوتاسيوم التربة الى ثلاثة أجزاء ترتبط فيما بينها بعلاقة توازن مباشر يحدد سلوك البوتاسيوم ودوره في التربة ومقدار جاهزيته للنبات .

1- البوتاسيوم الذائب في محلول التربة Soluble potassium

هو البوتاسيوم الذائب في محلول التربة ، اي انه يمثل الصورة التي لا ترتبط بقوى التبادل الكاتيوني (Reitemeier, 1951) . وتشكل هذه الصورة نسبة قليلة من البوتاسيوم الكلي بالتربة إذ تتراوح بين 0.1-2% . وهذه الكمية قليلة ولا تسد الاحتياجات المطلوبة من اي نبات مزروع . إنَّ هنالك عدة عوامل تؤثر على هذه الكمية منها كمية البوتاسيوم المتبادل exchangeable potassium ومحتوى التربة الرطوبي ونوع معادن الطين والمعادن الأولية وكميتها وتركيز الايونات الاخرى وشدة الغسل ومحتوى التربة من الاحياء الدقيقة ، وغيرها . وتمتاز الصور الذائبة بأهمية خاصة لانها الصورة الجاهزة لتغذية النبات وتمثل الجزء الهام في المستودع غير المستقر Labile pool (الشكل 2) .



الشكل (2) العلاقة بين صور البوتاسيوم المختلفة في التربة

2- البوتاسيوم المتبادل Exchangeable potassium

وهو البوتاسيوم المنجذب على سطح غرويات التربة التي تحمل الشحنة المضادة . ويمكن استخلاص هذه الصورة بواسطة المحاليل الملحية الخاصة بالاستخلاص مثل خلات الامونيوم ammonium acetate وتعتمد كميته على التركيب المعدني للتربة والمحتوى المائي للتربة وظروف التجوية والغسل وعدد مواقع التبادل وتركيز الايونات الاخرى ومحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم CaCO_3 وكبريتات الكالسيوم المائية $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ إذ تعمل المكونات الاخيرة على تقليل عدد مواقع التبادل وبالتالي تقلل من السعة التبادلية الكاتيونية للتربة فيقل تبعاً لذلك محتوى التربة من البوتاسيوم المتبادل . ولكن كلما ازداد محتوى التربة من الطين وكانت ذات نسبة قليلة من الكلس والجبس ازدادت قيمة السعة التبادلية الكاتيونية وازداد تبعاً لذلك البوتاسيوم المتبادل (Havlin et al 1985) . ويوضح جدول (2) تأثير قوام التربة (محتوى التربة من الطين) على محتوى البوتاسيوم المتبادل .

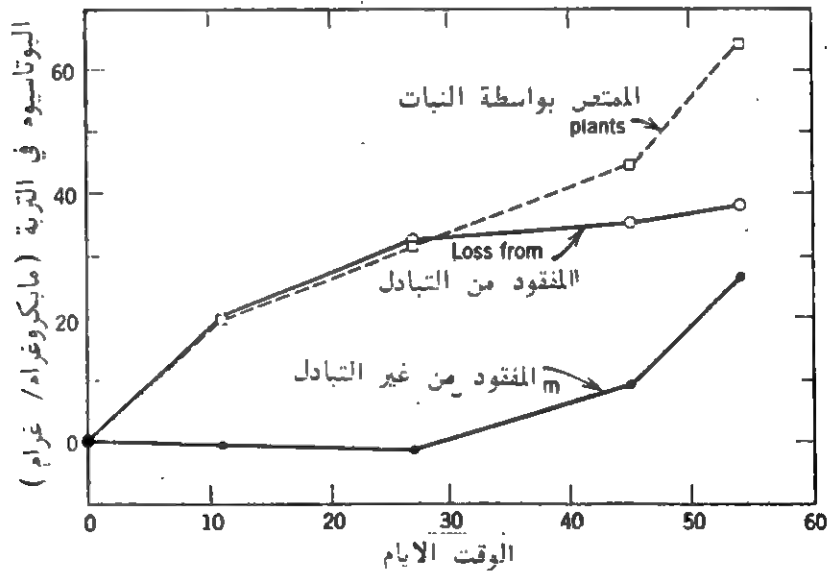
جدول (2) تأثير قوام التربة على محتوى البوتاسيوم المتبادل International Potash Institute, 1982

البوتاسيوم المتبادل ملغم 100/K O غم تربة	محتوى الطين %	قوام التربة
اكثر من 15	0-5	رملية
25-15	10-6	رملية مزيجية
30-26	15-11	مزيجية رملية
45-31	30-16	مزيجية
اكثر من 45	31	طينية

ويعتبر البوتاسيوم المتبادل الصورة الجاهزة من البوتاسيوم للنبات وإن نسبة هذه الصورة تتراوح بين % 1-10 من البوتاسيوم الكلي . ويمكن النظر الى هذه الصورة كأساس الى المستودع غير المستقر (الشكل 2) . وترتبط هذه الصورة بحالة اتزان سريع rapid equilibrium مع الصورة الذائبة وقد يضعب عزل الصورتين عن بعضهما حتى أثناء التقدير الكمي .

3- البوتاسيوم غير المتبادل Non-exchangeable Potassium

ويشمل كلاً من البوتاسيوم المثبت *fixed potassium* والبوتاسيوم المعدني الذي يوجد في كل المعادن الأولية والثانوية . وقد صنف بعض الباحثين البوتاسيوم غير المتبادل الى الصور البطيئة التخرر والصور المتوسطة التخرر . وتشكل هذه الصورة 90-98% من البوتاسيوم الكلي . وهناك علاقة وثيقة بين البوتاسيوم غير المتبادل والبوتاسيوم المتبادل تعتمد على حالة الاتزان الكيميائي التي تحدد السلوك الكيميائي لصور البوتاسيوم وجاهزيته بالتربة (الشكل 2) . ولا يمكن النظر الى الصور غير المتبادلة بأنها غير جاهزة اطلاقاً للنبات ، ومن خلال النتائج التي توصل اليها (Gaafer, 1980) نجد قدرة النبات على امتصاص كمية من البوتاسيوم المثبت بين الطبقات إذ كان تركيز البوتاسيوم في محلول التربة محدود بحدود 10 مايكرمول / لتر (جدول 3) . وقد اشار (Mutscher, 1983) الى تحرر البوتاسيوم المثبت حتى عندما يكون محلول التربة يحتوي على 117 الى 232 مايكرمول بوتاسيوم لكل لتر . ولهذا فإن البوتاسيوم غير المتبادل يكون بحالة توازن غير المتبادل وان الكمية الممتصة من هذه الصورة تزداد مع الوقت (الشكل 3) .



الشكل (3) امتصاص البوتاسيوم من ١ كغم تربة مزيجية مزروعة بست نباتات ذرة صفراء في بيت زجاجي مع بيان الكمية المأهامة من قبل الصورة المتبادلة وغير المتبادلة (Grimme, 1966) في الكمية الكلية الممتصة .

وبهذا تساهم الصور المتبادلة وغير المتبادلة في التعبير عن المستودع الجاهز من البوتاسيوم للنبات . ولا بد من التأكيد على ان الكمية الممتصة من الصور المتبادلة اكبر من الكمية الممتصة من الصور غير متبادلة .

تثبيت البوتاسيوم والعوامل المؤثرة عليه

يثبت البوتاسيوم في الفجوة السداسية المتكونة في طبقة التتراهيدرا سيليكات لمعادن 2:1 وذلك لتساوي نصف قطر البوتاسيوم (1.33 انجستروم) لنصف قطر الفجوة (1.35 انجستروم). إن عملية تثبيت البوتاسيوم تأتي نتيجة لحركة البوتاسيوم من مواقع التبادل بعد تشبيعها وبذلك يرتبط هذا العنصر بقوى تمنعه من الانطلاق بسهولة الى محلول التربة . ولهذا فإن لطبيعة معادن الطين السائدة دوراً هاماً جداً في تحديد عملية التثبيت . وسنحاول مناقشة العوامل المؤثرة على تثبيت البوتاسيوم وعلاقة ذلك بجاهزية البوتاسيوم .

1- معادن الطين

إن لنوع معدن الطين دوراً كبيراً في تثبيت البوتاسيوم ومعدل تحرر هذه الصورة المثبتة . وتمتاز معادن 2:1 بقدرتها العالية على تثبيت البوتاسيوم بالمقارنة مع معادن 1:1 أو مجموعة معادن 1:2 التي ينعلم بها التثبيت . كما إن للسعة التبادلية الكاتيونية للمعدن دوراً مساهماً في تشجيع تثبيت البوتاسيوم . ولهذا تختلف قدرة التثبيت مع اختلاف خصائص معادن 2:1 فبشكل عام إن قدرة معادن الالايات « الفيزمايكوليت » المونتمورنايت على تثبيت البوتاسيوم . وقد لوحظ أن البوتاسيوم لا يثبت بواسطة المادة العضوية وأن إضافة المادة العضوية الى معلق التربة ادى الى زيادة نشاط البوتاسيوم في المعلق وخفض الكمية المتبادلة .

2- درجة الحرارة

تزداد قدرة المعادن على تثبيت البوتاسيوم مع ارتفاع درجات الحرارة إذ يقل تركيز البوتاسيوم الذائب في محلول التربة بسبب تحوله الى صورة متبادلة أو غير متبادلة وكذلك الصور المتبادلة لتحولها الى صورة غير متبادلة وبهذا تتأثر جاهزية البوتاسيوم للنبات .

3- الرطوبة

يؤثر محتوى التربة الرطوبي على تثبيت البوتاسيوم بواسطة معادن الطين . فقد أشار (Wiklander, 1978) الا أن التجفيف يؤدي غالباً الى زيادة التثبيت

بسبب زيادة تجمع البوتاسيوم على سطح معادن الطين وتقلص البعد البلوري . إن التحفيف يساعد على زيادة معادن البوتاسيوم المتبادل وهذه الحالة مهمة في الترب الفقيرة بالبوتاسيوم أما الترب الغنية فقد تحصل حالة اندفاع للبوتاسيوم ليثبت داخل الطبقات .

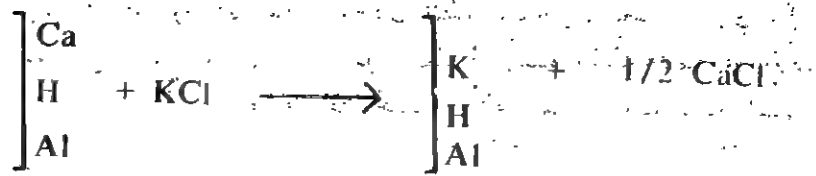
إن تعاقب الري والتجفيف حالة شائعة بالظروف الاعتيادية وتؤدي هذه العملية الى تحرر البوتاسيوم المثبت بسبب تقلص الطبقات المعدنية المتوية عند التجفيف وعودتها الى وضعها الطبيعي مما يساعد على انطلاق البوتاسيوم . كما لوحظ قدرة معادن الاليت والفيرمايكوليت على تثبيت البوتاسيوم في الظروف الرطبة وعند الجفاف ، ويرجع سبب ذلك الى عدم قدرة هذه المعادن على التمدد في الظروف الرطبة . أما معادن السمكتايت Smectite minerals فإن قدرة التثبيت تكون ذات فعالية عند الجفاف بسبب تقارب الطبقات من بعضها بعد فقد الماء والكائونات المتأددة التي تعمل كسد مانع لدخول البوتاسيوم (DeMumbrum and Hoover, 1958) .

4- درجة تفاعل التربة

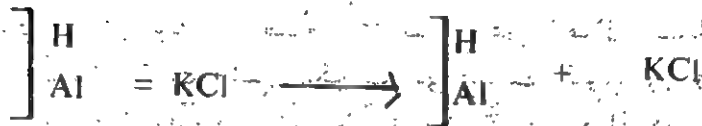
إن لدرجة تفاعل التربة أهمية خاصة بسبب دوره الكبير في التحكم بكثير من خواص التربة الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية ومن ضمنها تأثيره على جاهزية عنصر البوتاسيوم من خلال تأثيره على طبيعة العلاقة بين صور البوتاسيوم المختلفة وبالاخص على تحرر البوتاسيوم وتثبيته فقد وجد (Kaila, 1965) إن كمية البوتاسيوم المثبتة في التربة تزداد مع زيادة pH التربة وإن اضافة الكلس يساعد على تحويل البوتاسيوم غير المتبادل الى متبادل .



وعند اضافة محلول بوتاسي فانه سوف يثبت في هيئة غير متبادلة في الترب الحامضية المعاملة بكميات كبيرة من الكلس اكثر من الترب الجامضية غير المعاملة [كما وصف ذلك (Tisdale & Nelson, 1975)] .



ترب حامضية معاملة بالكلس



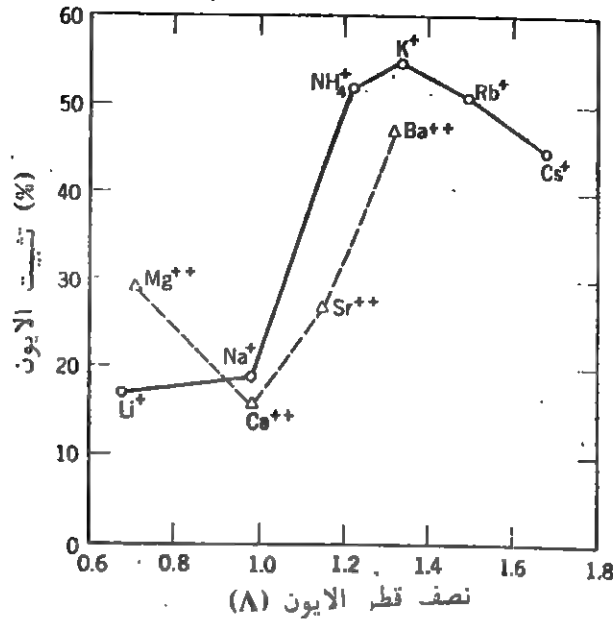
ترب خاضية غير معاملة بالكلس

وقد اشارت نتائج بعض الابحاث (مثل Page & Ganje, Mortland, 1961 1964) الى زيادة كمية البوتاسيوم المثبتة مع ارتفاع قيمة pH التربة وتقل بنفس الوقت نسبة تحرره من مواقع التثبيت.

5- تأثير ايون الامونيوم

سبق ان اوضحنا ان ايون البوتاسيوم (نصف قطره 1.33 أنجستروم) يثبت بالفجوة السداسية لطبقة التراهيدرايلىكا (نصف قطرها 1.35 أنجستروم) وذلك لتقارب أنصاف اقطار الاثنين. وكذلك فإن قدرة ايون الامونيوم (نصف قطره 1.30 أنجستروم) للتثبيت بالفجوة السداسية عالية. ويمكن القول ان قدرة هذين الايونين على التثبيت دون غيرها يرجع لتقارب انصاف اقطارها مع نصف قطر الفجوة السداسية. ويوضح الشكل (4) اختلاف قدرة الايونات المختلفة على التثبيت وإن العامل المحدد لهذه الخاصية هو نصف قطر الايون.

لقد اجريت العديد من الابحاث لمعرفة العلاقة المتداخلة بين تثبيت الامونيوم والبوتاسيوم وذلك ليكون ايون الامونيوم الصورة السائدة في الاسمدة النيتروجينية المضافة الى الترب. وكانت من النتائج التي تم التوصل اليها هي أن مواقع تثبيت البوتاسيوم والامونيوم متشابهة، وإن اضافة الامونيوم أولاً واحتلاله مواقع تثبيت محددة تدفع البوتاسيوم المضاف بعده الى احتلال المواقع المتبقية. وتزداد كمية الامونيوم المثبتة مع زيادة الكمية المضافة. وبذلك يقلل المواقع المتبقية لتثبيت البوتاسيوم. وعند اضافة البوتاسيوم أولاً فإنه يعمل أيضاً على تقليل الامونيوم المثبتة.



الشكل (4) تأثير العلاقة بين نصف قطر الايون وتكافؤه على النسبة المئوية للتثبيت الايوني في تربة طينية (Page & Baver, 1939).

وإن اضافة تركيز ثابت من الايونين يساعد على تثبيت كمية اكبر من البوتاسيوم بالمقارنة مع الامونيوم (الشكل 5).

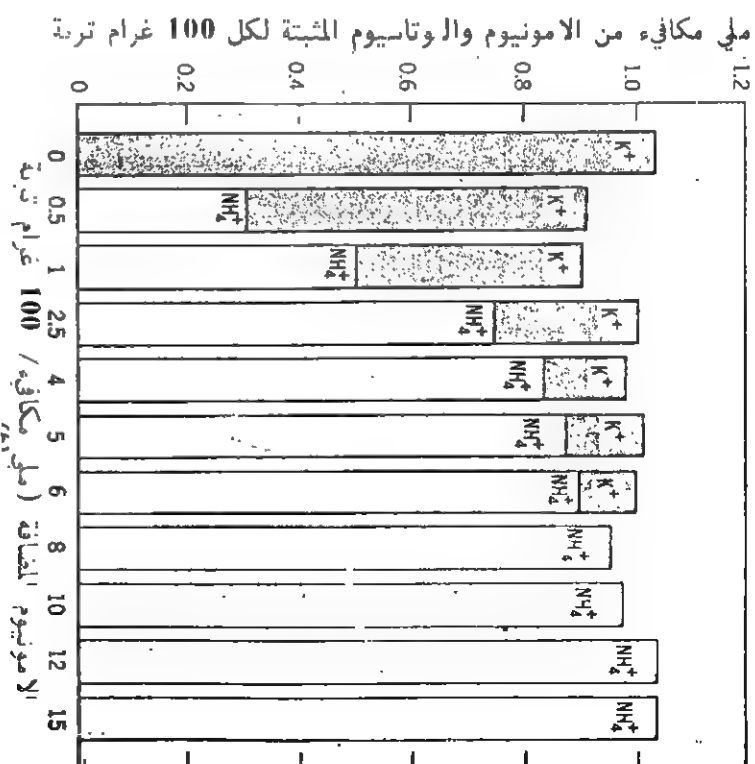
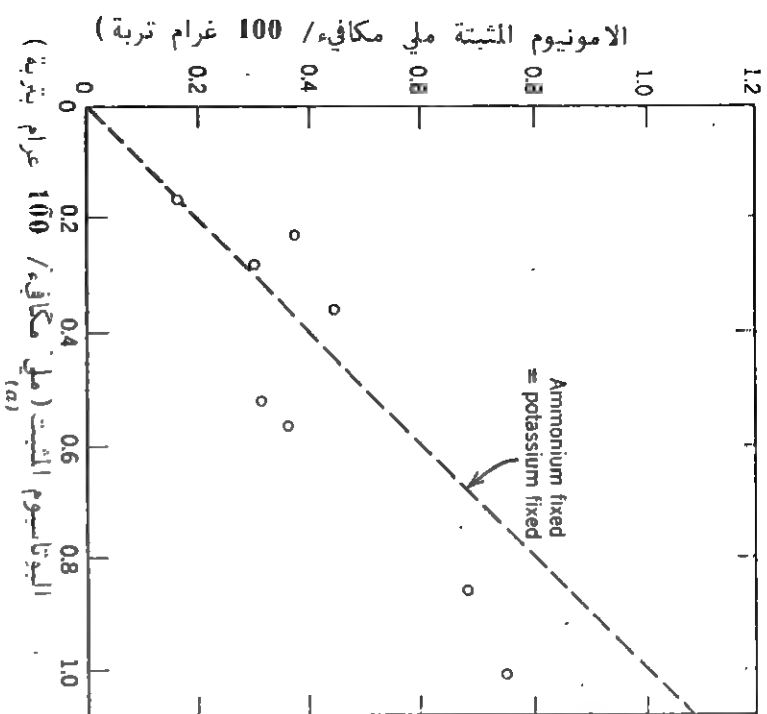
إن اضافة البوتاسيوم بعد الامونيوم يعرقل تحرير الامونيوم المثبت وكذلك يعمل ايون الامونيوم (الشكل 6). حيث يسك أيون الامونيوم الطبقات بقوة اكبر بسبب صغر حجمه.

الاتزان الكيميائي بين صور البوتاسيوم وجاهزته

إن الصور الثلاث - البوتاسيوم الذائب والبوتاسيوم المتبادل والبوتاسيوم غير المتبادل في. اتزان كيميائي يحدد السلوك العام للبوتاسيوم الجاهز للنبات.

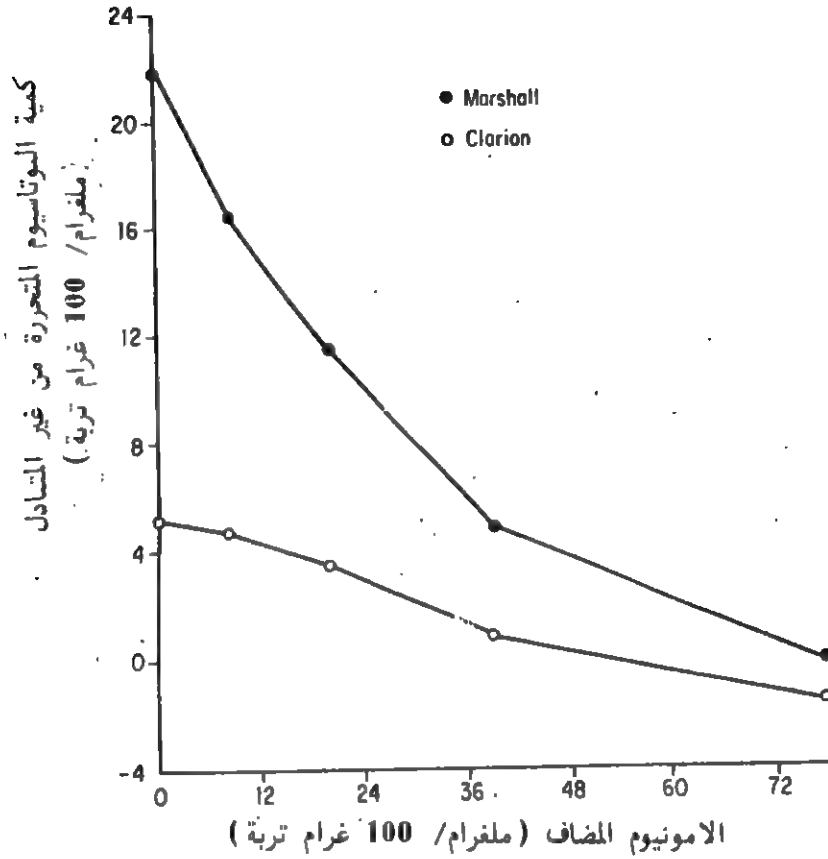
الذائب \rightleftharpoons المتبادل \rightleftharpoons غير المتبادل

ولا توجد هنالك حدود تفصل بين صور البوتاسيوم وانما هي حدود وهمية وضعت لمعرفة سلوكية كل صورة من صور البوتاسيوم في التربة وقد اشار (Mengel, 1985) الى ان كمية البوتاسيوم الذائبة قليلة جداً وهي بحدود



الشكل (5) تثبيت البيوتاسيوم والامونيوم بالترب الرطبة (أ) العلاقة بين تثبيت الامونيوم وتثبيت البيوتاسيوم في ثمان ترب ذات قدرة تثبيتية مختلفة بعد اضافة محلول واحد

من كلوريدات هذه الايونات ويمثل 2.5 ملي مكافئ / 100 غرام تربة (ب) الكمية المثبتة في الامونيوم بعد اضافة مستويات مختلفة من كلوريد الامونيوم الى نموذج تربة سبق ان عومل بكمية ثابتة 2.5 ملي مكافئ كلوريد البيوتاسيوم لكل 100 غرام تربة (Stanford & Pierre, 1947) :

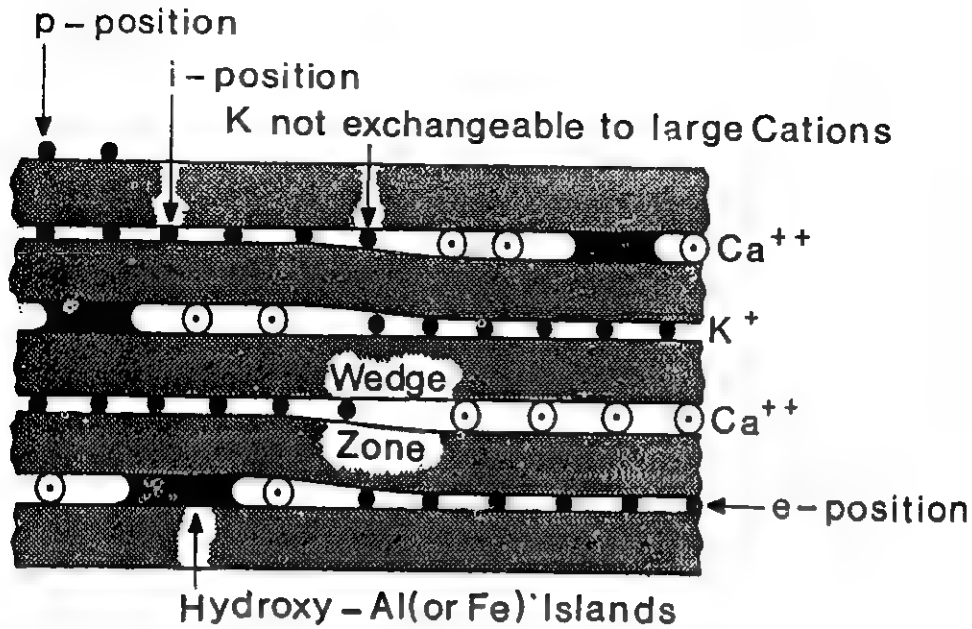


الشكل (6) تأثير اضافة ايون الامونيوم على انطلاق البوتاسيوم غير المتبادل [Welch & Scott, 1961].

10-20 كغم بوتاسيوم لكل هكتار في الطبقة السطحية (0-0.3 م) في الترب المسمدة . بينما البوتاسيوم المتبادل يتراوح بين 300 الى 1000 كغم بوتاسيوم لكل هكتار ، والبوتاسيوم غير المتبادل محدود 10^3 الى 10^4 كغم بوتاسيوم لكل هكتار . ولهذا فان البوتاسيوم الكلي في الطبقة السطحية لترب معدنية يتراوح بين 2×10^4 الى 5×10^4 كغم بوتاسيوم لكل هكتار . وبغض النظر عن البوتاسيوم الذائب فإن الصور المتبقية ترتبط في معادن التربة وغروياتها بمواقع مختلفة (الشكل 7) تحدد بذلك حالة الاتزان الكيماوي بين الصور المختلفة وكذلك الاحتياجات السماوية المطلوبة خلال موسم النمو . وتمثل مواقع البوتاسيوم في الترب المختلفة بالآتي :

1- مواقع على السطح (P-position planar surface)

وقوة الربط محدود 2.2 (ملي مول / لتر)^{1/2} وهي عبارة عن مواقع ربط البوتاسيوم السطحية التي ترتبط بحالة توازن سريع مع البوتاسيوم



الشكل (7) مواقع ارتباط البوتاسيوم في معادن 2:1 (Kirkby & Mengel, 1982).
الذائب بمحلول التربة. ويمتاز البوتاسيوم المرتبط بهذه المواقع بقدرته على التعويض السريع حال حدوث نقص في محلول التربة وذلك لتستقر حالة التوازن بين الصورتين. وينظر لهذا البوتاسيوم بأنه جاهز للاحتياجات النباتية.

2- مواقع عند الحواف e-position (Edges of the layer)

إن قوة الربط بهذه المواقع أعلى من مواقع P-position فهي بمحدود 102 (ملي مول / لتر) $\frac{1}{2}$. ويمتاز البوتاسيوم المرتبط بهذه المواقع بقدرته البطيئة على التحرر. وتنتشر هذه المواقع في معادن الطين 1:1 وإن زيادة نسبتها بالتربة يؤدي إلى عرقلة انتشار البوتاسيوم إلى جذور النبات.

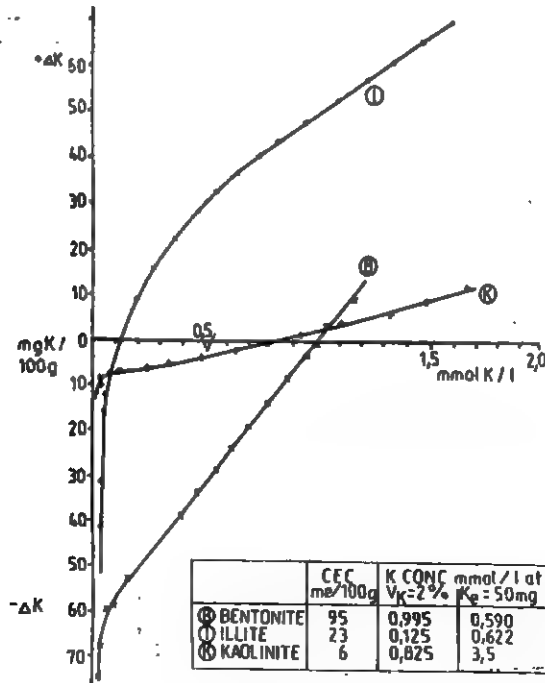
3- مواقع بين الطبقات i-position (Interlayer position)

إن قوة الربط بهذه المواقع أعلى بكثير من مواقع (P و i positions). فهي عبارة عن القوى الرابطة للبوتاسيوم المثبت بين طبقات معادن 2:1 وإن قدرة البوتاسيوم على التحرر من هذه المواقع بطيئة جداً بالمقارنة مع المواقع الأخرى. لذا توصف هذه القوة بأنها تمثل مقداراً لانهائياً من (ملي مول / لتر) $\frac{1}{2}$. وهذه المواقع الثلاثة وصفت بمعامل جابون Gapon coefficient من قبل Bolt et al, 1963.

$$\frac{K_{ads}^{+}}{Ca_{ads}^{2+}} = K \frac{K_s^{+}}{Ca_s^{2+}}$$

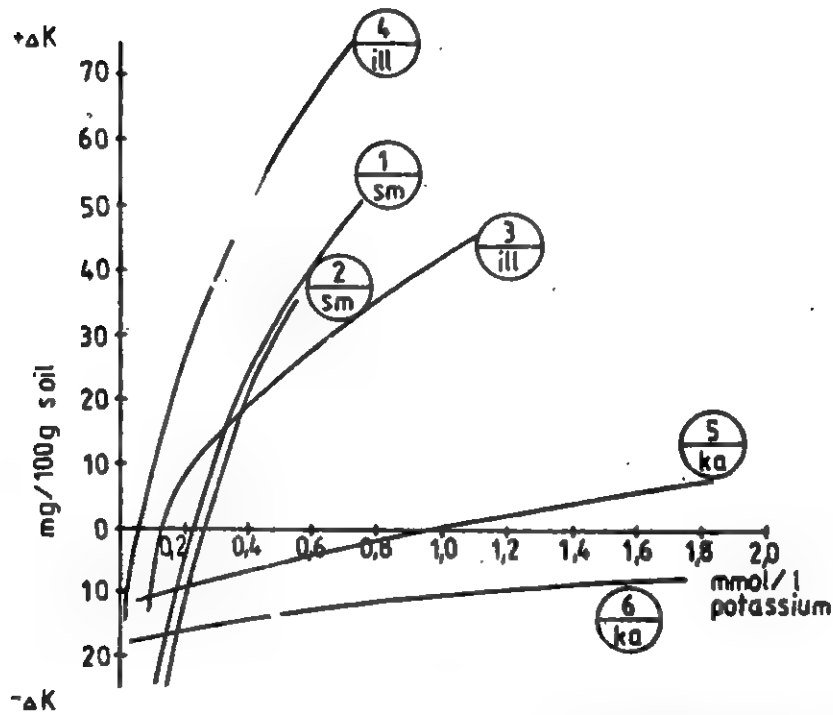
حيث أن K_{ads} و Ca_{ads} التراكيز الممدصة بينما K_s^{+} و Ca_s^{2+} التراكيز الذائبة و K هو معامل جابون .

في الترب العضوية والرملية يرتبط البوتاسيوم بمواقع P-position وإن عدد هذه المواقع قليل جداً وكذلك الحال في معادن الطين 1:1 التي تمتاز بعدم قدرتها على تثبيت البوتاسيوم وانخفاض السعة التبادلية الكاتيونية لمجموعة هذه المعادن . ولهذا فإن سيادة أي من هذه المواقع في الترب الطينية يعتمد على نوعية المعادن السائدة . إن تركيز محلول الترب الطينية الحاوية على مجموعة معادن 1:2 يكون واطئاً عموماً بالمقارنة مع تركيز محلول الترب الرملية أو حتى الطينية الحاوية على مجموعة معادن 1:1 مثل معدن الكاؤولينات وذلك لقلة محتوى الترب الأخيرة على مواقع محدودة لامدصاص البوتاسيوم وانعدام مواقع التثبيت . وبسبب اختلاف قوة هذه المواقع واعتمادها على خصائص التربة فإن العلاقة بين الامدصاص / الانطلاق adsorption / desorption لعنصر البوتاسيوم يحددها نوع المعدن وليس السعة التبادلية الكاتيونية بشكل اساس (الشكل 8) ، بل أن السعة التبادلية الكاتيونية



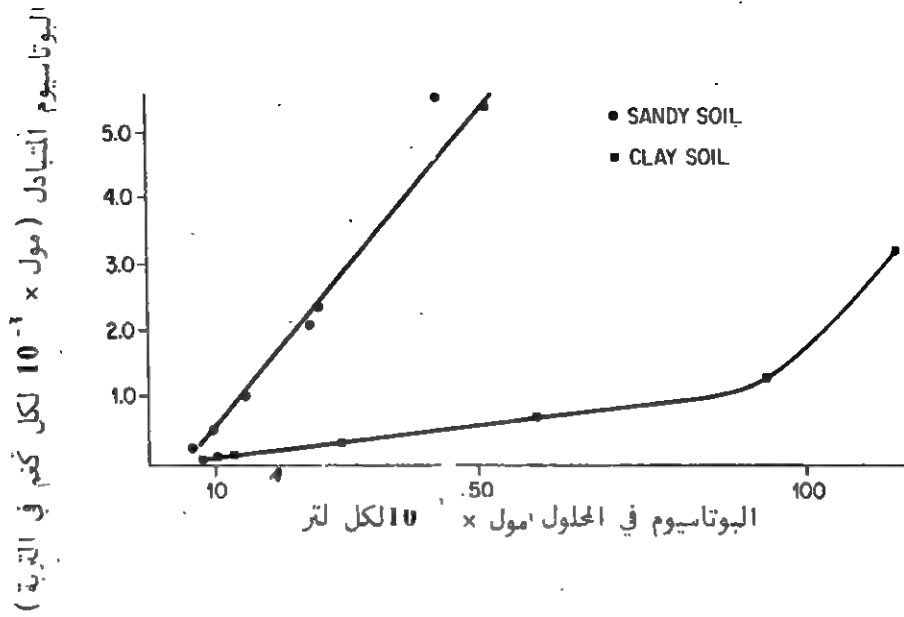
الشكل (8) العلاقة بين الامدصاص / الانطلاق لايون البوتاسيوم في ترب مختلفة الخصائص (Mutscher, 1983) .

ونسبة الطين تكونان عاملاً مساعداً لزيادة معدل الامدصاص للبوتاسيوم في الترب (الشكل 9). وقد أوضحت نتائج (Grimme et al. 1971) اختلاف القدرة التشبيعية للبوتاسيوم في الترب الرملية والطينية وذلك بسبب اختلاف نسبة مواقع التبادل في هذه الترب (الشكل 10). إذ ينقسم منحنى التربة الطينية الى قسمين يمثل الجزء الاسفل من المنحنى مواقع P-position بينما يمثل الجزء الثاني مواقع i.e -position



		clay mineralogy	clay %	CEC of clay me/100 g
1 Alluvial soil	Egypt	smectitic	44,7	86,0
2 vertisol	Algeria	smectitic	29,8	104,1
3 subaridic Soil	India	illitic	18,3	62,4
4 subtrop. fersiall. Soil	Algeria	illitic	59,7	50,0
5 ferrallitic Soil	Tanzania	kaolinitic	54,9	17,8
6 ferrallitic Soil	Congo	kaolinitic	70,0	11,8

الشكل (9) العلاقة بين الامدصاص/ الانطلاق لأيونات البوتاسيوم في ترب مختلفة الخصائص ومحتوى الطين (Mutscher, 1983).



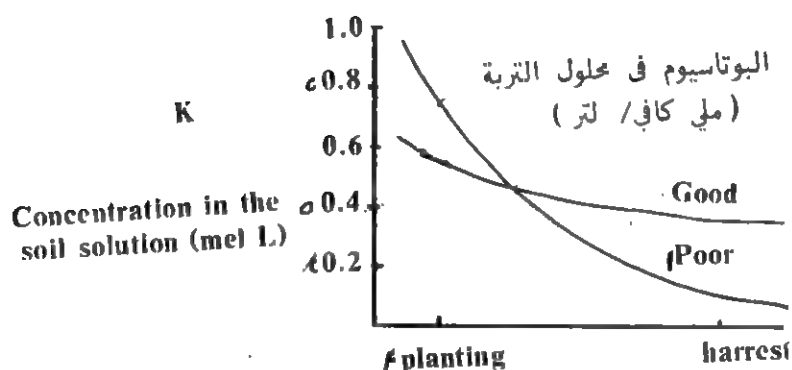
الشكل (10) العلاقة بين تركيز البوتاسيوم في محلول التربة والبوتاسيوم المتبادل في ترتيبين ذات محتوى مختلف من الطين (Grimme et al. (1971

ان معدل انتشار البوتاسيوم في الترب الرملية والعضوية وكذلك معدل غسل البوتاسيوم الى اعماق قطاع التربة اكبر من الترب المعدنية الطينية الحاوية على معادن 1: 2 (جدود 4) . وكما سبق ان اشرنا فان نسبة الطين لا يمكن النظر اليها كدالة . بل لنوع الطين تأثير كبير على كمية البوتاسيوم المدصدة والمثبتة وكذلك المنطلقة خلال عملية desorption .

جدول (4) تأثير كمية الطين على معدل غسل البوتاسيوم

التربة	محتوى الطين	معدل غسل البوتاسيوم كغم / هكتار / سنوياً
رمل	اقل من 3%	7-17
مزيجية رملية	16%	0-14
مزيجيه	28%	3-8
طين	39%	5-8

ولهذا فان الترب الرملية تمتاز بانخفاض القدرة التنظيمية خلال فترة نمو اي محصول . اي بمعنى ان الترب الرملية بحاجة الى تكرار التسميد او محاولة رفع تركيز محلول التربة في مراحل النمو الاخيرة اذا اضيف السماد في بداية النمو . ان محافظة الترب على تجهيز محلول التربة بسرعة ليحافظ على التركيز المناسب خلال فترة النمو يعني امتلاكها القدرة التنظيمية buffering Capacity العالية (الشكل 11) . ولهذا فان الترب الطينية اكثر تنظيمياً للمحافظة على تركيز محلول التربة من الترب الرملية والعضوية خلال فترة زمنية محددة .



الشكل (11) تغير تركيز محلول الترب خلال موسم النمو وعلاقته بالقدرة التنظيمية للتربة (Mengel, 1985) .

وبشكل عام فان البوتاسيوم الذائب بمحلول التربة والمرتبط بمواقع p-positions تمثل البوتاسيوم الجاهز والممتص من قبل النبات والمتحرك خلال مقد التربة بعد الري او سقوط الامطار . واما البوتاسيوم في مواقع e-position فان قدرته للحركة اقل ولهذا فانه يساهم في تجهيز محلول التربة أو النبات بكمية من البوتاسيوم . كما اكدت عدة دراسات على قدرة البوتاسيوم بين الطبقات للانطلاق والمساهمة في تجهيز النبات باحتياجاته . فقد درس (Jackson & During 1979) انطلاق البوتاسيوم المثبت من ست ترب مختلفة المحتوى والتركيب المعدني ووجدوا ان التركيز الحرج للبوتاسيوم Critical K⁺ concentration في محلول التربة المشجع لعملية انطلاق البوتاسيوم المثبت محدود 0.1 الى 2 ملي مول لكل لتر . ووفقاً لنتائج (Talibudeen, 1972) فان قدرة الحشائش على الاستفادة من البوتاسيوم المثبت كانت عند تركيز يصل الى 0.1 ملي مول لكل لتر . ووضح

(Scott & Smith, 1966) ان الكمية المتحررة من البوتاسيوم المثبتة تعتمد على نوع الكاتيون المتبادل وان ايون الهايدروجين وايون الامونيوم لها القدرة العالية على اطلاق البوتاسيوم دون حدوث اي تمدد بالطبقات . في حين اشارت النتائج التي توصل اليها (Jackson & During, 1979) الى افضلية تأثير الكالسيوم والصوديوم على اطلاق البوتاسيوم وان ميكانيكية الانطلاق تتأثر بدرجة الحرارة وان اعلى معدل للانطلاق كان عند درجة حرارة (50°م) . اما الباحثان (Schroeder & Dümmler, 1966) فقد وجدوا ان للبوتاسيوم غير المتبادل دوراً كبيراً في تجهيز النبات بالبوتاسيوم وقد تصل مساهمته في بعض الترب من 80 الى 90% من الكمية الكلية الممتصة من قبل النبات وبالرغم مما ذكر فلا يمكن النظر الى البوتاسيوم غير المتبادل بأنه سريع التجهيز للنبات كما لا يمكن مقارنة سرعة مساهمته مع المتبادل فقد اكدت النتائج التي توصل اليها (Mengel & Wiechens, 1979) عدم اعتماد البوتاسيوم غير المتبادل كمصدر دائم للنبات ، بل ان معدل انطلاقه ترتبط بعوامل عديدة وقد لا تزيد نسبة البوتاسيوم المنطلق عن 2.5% من محتوى البوتاسيوم الكلي بالتربة بسبب ازدياد قوة الربط . وفي الظروف الحقلية وجد (Amberger et al, 1974) ان قدرة البوتاسيوم غير المتبادل للانطلاق تحتاج الى وقت قد يزيد عن شهر .

وتعد عملية تثبيت البوتاسيوم بالتربة مشكلة تعرقل جاهزيته خلال فترة نمو المحاصيل . وقد يقصد بعملية تثبيت البوتاسيوم هو اعادة الميئ مواقع التثبيت وبذلك يمكن حل هذه المشكلة من خلال اضافة كمية كبيرة من البوتاسيوم لاشباع المواقع الفارغة ثم بعد ذلك يضاف المستوى المطلوب من السماد ليكون بصورة جاهزة وملبية لحاجة النبات .

يتحرك البوتاسيوم الى جذور النبات بطريقتي الانتشار والانتقال الكتلي . ولهذا فان الكمية التي تصل الى المجموع الجذري تعتمد على تركيز البوتاسيوم في محلول التربة القريب والبعيد عن المجموع الجذري . وان معدل انتشار البوتاسيوم يعتمد ايضاً على محتوى التربة الرطوبي اذ يزداد معدل الانتشار عند توفر الرطوبة . ولهذا فان الترب الجافة تحتاج الى كمية اعلى من البوتاسيوم كي ينتشر او يتحرك بصورة اسرع ليعطي اعلى جاهزية . كما ان الرطوبة العالية تؤدي الى زيادة كفاءة استهلاك البوتاسيوم من قبل النبات (الشكل 12) . كما اوضحت النتائج التي توصل اليها (Younts, 1971) ان وفرة الرطوبة بحدود الكفاية يساعد على حركة البوتاسيوم للنبات مما ينعكس ذلك ايجابياً على الانتاج . وان تجاوز الحدود المطلوبة يخلق ظروفاً لاهوائية تنعكس بالضرر على انتاجية المحصول . لهذا فان محتوى التربة من الطين والبوتاسيوم المتبادل وقدرة التربة التنظيمية

buffering Capacity للبوتاسيوم ومحتوى التربة الرطوبي تؤثر بشكل مباشر على جاهزية البوتاسيوم للنبات وتلعب دوراً هاماً في تحديد السلوك الكيميائي لبوتاسيوم التربة وكذلك البوتاسيوم المضاف بهيئة أسمدة كيميائية مختلفة .



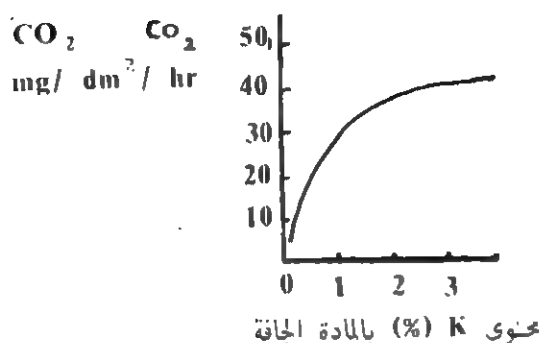
الشكل (12) تأثير محتوى التربة الرطوبي على كفاءة البوتاسيوم المضافة الى تربة مرزوعه بحصول الذرة الصفراء (Braunschweig & Grimme, 1973).

البوتاسيوم ونمو النبات

سبق ان أشرنا الى اهمية عنصر البوتاسيوم في تغذية النبات . وسنحاول مناقشة دور هذا العنصر في النبات بعد امتصاصه من محلول التربة لكي نبين الدور الذي يؤديه هذا العنصر في الانتاج الزراعي .

يعتبر عنصر البوتاسيوم عاملاً منشطاً للأنزيمات المساهمة في عملية التركيب الضوئي . فقد أشار (Smid and Peaslee, 1976) الى ان زيادة محتوى الجزء الخضري بعنصر البوتاسيوم يشجع عملية التركيب الضوئي من خلال زيادة كمية ثاني اوكسيد الكربون الممتصة (الشكل 13) وكذلك زيادة نشاط الانزيمات المساعدة في تمثيل ثاني اوكسيد الكربون CO_2 assimilation ، مثل انزيم Adenopsion triphosphate (ATP) . كما أوضح (Hartt, 1979) بان لعنصر البوتاسيوم دوراً هاماً في حركة الكربوهيدرات من مواقع تكوينها الى اجزاء النبات الاخرى وبذلك يساهم في تشجيع عملية التركيب الضوئي . اما (Haeder et al 1973) فقد لاحظا ان حوالي 80% من ^{14}C قد تحرك من الاوراق الى الدرنات خلال فترة اربع وعشرين ساعة عند اضافة البوتاسيوم . ولكن لا تتجاوز

كمية الكربون المتحرك الى اكثر من 50% عند المعاملة التي لم تسمد بالبوتاسيوم
 بما يؤكد دور هذا العنصر في حركة الكاربوهيدريت .



الشكل (13) العلاقة بين محتوى النبات من البوتاسيوم وعملية التركيب الضوئي (1979)
 (Hartt,

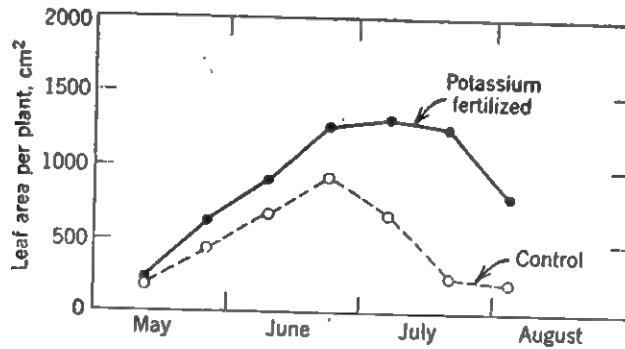
ولهذا فقد يؤدي نقص البوتاسيوم الى انخفاض محتوى النبات من
 الكاربوهيدريت . ولا يمكن النظر الى العلاقة بين محتوى النبات من البوتاسيوم
 والكاربوهيدريت بانها علاقة طردية بل يحدد ذلك الجهد الوراثي للنبات والسلوك
 التوازني بين محتوى النبات من البروتين والكاربوهيدريت . فقد ينخفض محتوى
 النبات من الكاربوهيدريت عند تجاوز حدود معينة من محتوى النبات من
 البوتاسيوم (جدول 5) ، مما يؤكد اهمية حدود التوازن بين الاثنين . وقد يؤدي

جدول (5) تأثير اضافة مستويات مختلفة من البوتاسيوم على انتاجية محصول
 البطاطا ومحتوى السكر في الدرناات (استل من Black, 1968) .

البوتاسيوم المضاف (غم/ سندان)	انتاجية المادة الجافة غم / سندان الدرناات	المادة الجافة القيمة	محتوى السكر في الدرناات الجافة	
			%	
0	8	1	41	53
0.23	29	3	51	62
0.70	70	2	49	67
1.56	109	3	53	68
3.90	125	2	49	66

نقص البوتاسيوم الى ضعف الساق وقلة الالياف وصغر حجم الخلايا النباتية بسبب نقص محتوى النبات من الكربوهيدرات .

ومن خلال دور البوتاسيوم في زيادة كفاءة عملية التركيب الضوئي ومعدلها ومحتوى النبات من الكربوهيدرات ، فإنه يساعد على زيادة مساحة الاوراق النباتية (الشكل 14) . وإن مساهمة عنصر البوتاسيوم في تنشيط الأنزيمات في جميع مراحل النمو يساعد على إحتفاظ اكبر عدد من الاوراق بجالة نشطة حتى نهاية الموسم (جدول 6) . ولهذا فإن إضافة البوتاسيوم سيؤدي الى زيادة النمو والانتاج وتحسين نوعيته ومحتواه الكربوهيدراتي .



الشكل (14) تأثير التسميد البوتاسي على مساحة اوراق نبات البطاطا خلال فترات النمو المختلفة (Watson, 1956) .

جدول (6) تأثير التسميد البوتاسي على عدد الاوراق الساقطة في نهاية الموسم .

كمية البوتاسيوم المضافة كغم / هكتار	% عدد الاوراق الساقطة
22	65
45	53
90	31

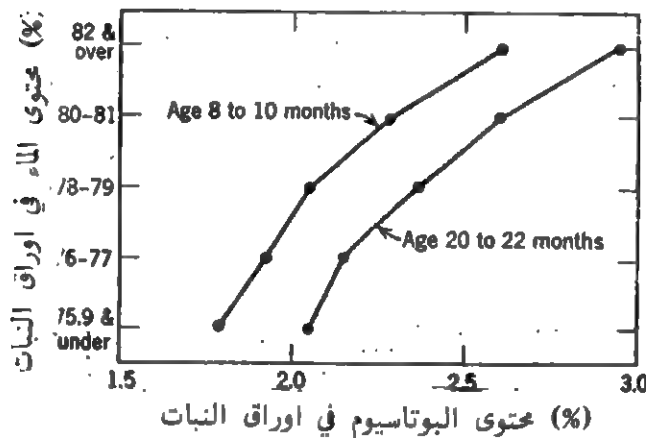
البوتاسيوم وإمتصاص الماء

إن إمتصاص البوتاسيوم يساعد على زيادة الضغط الازموزي للخلية النباتية ، لذلك يتحرك الماء الى داخل الخلية مما يؤدي الى زيادة الضغط الانتفاخي للخلية. *tugor pressure* . وهذا الضغط ضروري جداً لتمدد الخلية ، كما يساعد على توليد ضغط داخلي للخلية على الجدران الداخلية مما يعمل على فتح الثغور *Stomata* وبالتالي-تزداد عملية النتح *Transpiration* ودخول ثاني اوكسيد الكربون الجوي الى داخل الورقة مما يساهم في زيادة كفاءة عملية التركيب الضوئي . ويعوض نقص الماء أثناء عملية النتح بالتأثير الازموزي للبوتاسيوم الممتص الذي يساعد على إمتصاص المزيد من الماء . فقد لوحظ أن النبات الذي حصل على احتياجاته من البوتاسيوم ، إستهلك اقل كمية من الماء ليعطي اعلى انتاج . وتؤكد النتائج التي توصل اليها (*Mengel & Forster, 1978*) أن للبوتاسيوم دوراً كبيراً في زيادة كفاءة الوحدة المائية اللازمة لإنتاج غرام واحد من الحاصل . أي بمعنى أن النبات المجهز بكمية كافية من البوتاسيوم يستطيع أن يستفيد من رطوبة التربة بمستوى أعلى كفاءة لإنتاج غرام واحد من الحاصل بالمقارنة مع نبات لم يجهز بالكمية الكافية من هذا العنصر (جدول 7) . وان زيادة مستوى البوتاسيوم المضاف يؤدي الى زيادة الانتاج وان المستوى العالي من البوتاسيوم يقلل من استهلاك النبات لانتاج غرام واحد من البنجر السكري .

جدول (7) تأثير البوتاسيوم على تحسين كفاءة الماء الممتص من قبل محصول البنجر السكري (*Mengel & Forster, 1979*) .

تركيز البوتاسيوم في المحلول المغذي (ملي مكافئ بوتاسيوم/ لتر)		
5.0	1.0	0.2
وزن البنجر السكري (غرام/ نبات)		
647	602	392
(لتر) الاستهلاك المائي الكلي لكل وحدة بنجر		
27.2	27.7	27.8
غرام من الماء المستهلك لإنتاج غرام واحد من البنجر السكري		
42	46	71

وقد اشارت النتائج التي توصل اليها (Humbert, 1958) الى أن نقص البوتاسيوم في اوراق محصول قصب السكر sugarcane يؤدي الى انخفاض الضغط - الانتفاخي للاوراق بسبب نقص محتواها من الماء وأن التأثير يكون ذا فعالية اكبر في مراحل النمو الاولى بالمقارنة مع المراحل المتقدمة (الشكل 15). وقد اكد (Williams, 1960) وآخرون بأن معظم الايونات الموجبة الاحادية مثل الصوديوم لها تأثير أزموزي مشابه لما يفعله البوتاسيوم ولكن لا يقلل هذا الامر دور البوتاسيوم المتميز في زيادة كفاءة الاستهلاك للماء وما ينعكس ذلك على عملية التركيب الضوئي ونتاج المزيد من الكربوهيدرات.

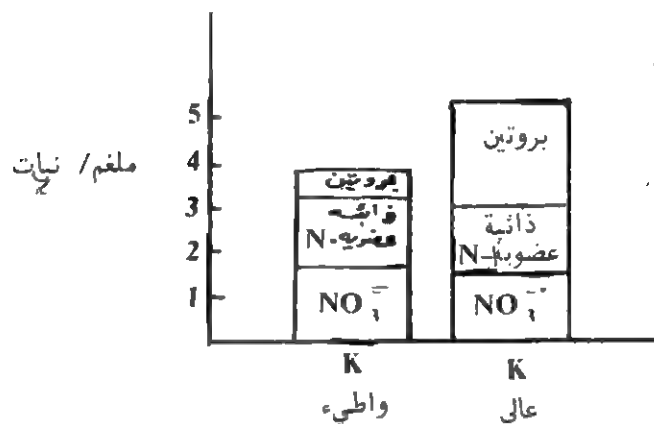


الشكل (15) العلاقة بين محتوى اوراق محصول قصب السكر من البوتاسيوم ومحتواها من الماء خلال فترات نمو مختلفة (Humbert, 1958).

العلاقة بين البوتاسيوم والنايتروجين

سبق أن أوضحنا أن النبات يمتص النايترجين بهيئة NO_3^- و NH_4^+ . وتتحول هذه الصور داخل النبات الى مركبات عضوية نايتروجينية بسيطة اولاً مثل الاحماض الامينية amino acids ومنها تتكون الصور الاكثر تعقيداً مثل البروتينات proteins والاحماض النووية nucleic acids. وإن سلسلة التحويلات التي تبدأ بتحويل الصور المعدنية اولاً تحتاج الى طاقة. ويقوم البوتاسيوم من خلال تنشيطه لانزيم Adenosin triphosphate (ATP) بتزويد سلسلة التحولات بالطاقة اللازمة وكذلك يساعد على اختزال NO_3^- الى NH_4^+ . ولهذا يؤدي البوتاسيوم دوراً هاماً في تكوين المركبات النايتروجينية المساهمة في بناء أنسجة النبات ومكوناته. فقد أشار (Koch & Mengel, 1978) الى قدرة البوتاسيوم على مساعدة النبات لامتناس النايترجين وتحويله الى بروتين. كما لاحظنا أن

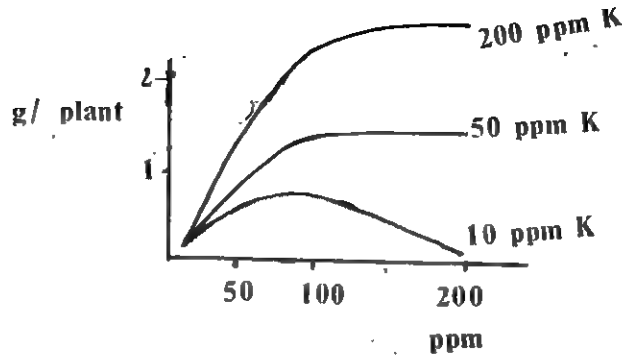
المستويات الواطئة من البوتاسيوم تعمل كمانع لتكوين البروتين وبذلك يزداد تركيز NO_3^- والمركبات الوسطية الأخرى في النبات ، في حين يساعد امتصاص النبات للبوتاسيوم بحدود الكفاية يعمل على تحويل الصور المعدنية الممتصة الى صور عضوية وبذلك فإن نسبة محتوى النبات من البروتين تكون عالية (الشكل 16) .



الشكل (16) تأثير البوتاسيوم على امتصاص النايروجين (^{15}N) وقبيله الى بروتين بعد فترة خمس ساعات من المعاملة (Koch & Mengel, 1978) .

وللبوتاسيوم دور بارز في زيادة كفاءة الاسمدة النايروجينية المضافة للتربة . فقد بينت النتائج التي توصل اليها (Macleod, 1969) أن توفر البوتاسيوم بكمية مناسبة لمحصول الشعير يعمل مع النايروجين على زيادة الانتاج ، وإن استجابة المحصول للنايروجين تزداد مع زيادة مستوى البوتاسيوم المضاف (الشكل 17) . وقد بينت النشرة السنوية (International Potash Institute, 1982) نتائج احدى التجارب التي أجريت في فرنسا على محصول الذرة الصفراء الخاصة بدراسة التداخل بين النايروجين والبوتاسيوم وأثر ذلك على الانتاج . فقد اضيف النايروجين بمستويين هما 75 و 150 كغم نايروجين لكل هكتار في حين ، اضيف البوتاسيوم بالمستويات الآتية (0 ، 80 و 160 كغم K_2O لكل هكتار) مع مستوى ثابت من السماد الفوسفاتي (120 كغم P_2O_5 / هكتار) . إن معدل زيادة الانتاج بفعل تأثير البوتاسيوم عند المقارنة بين انتاجية المستوى 75 كغم N / هكتار والمستوى 150 كغم N لكل هكتار هي :

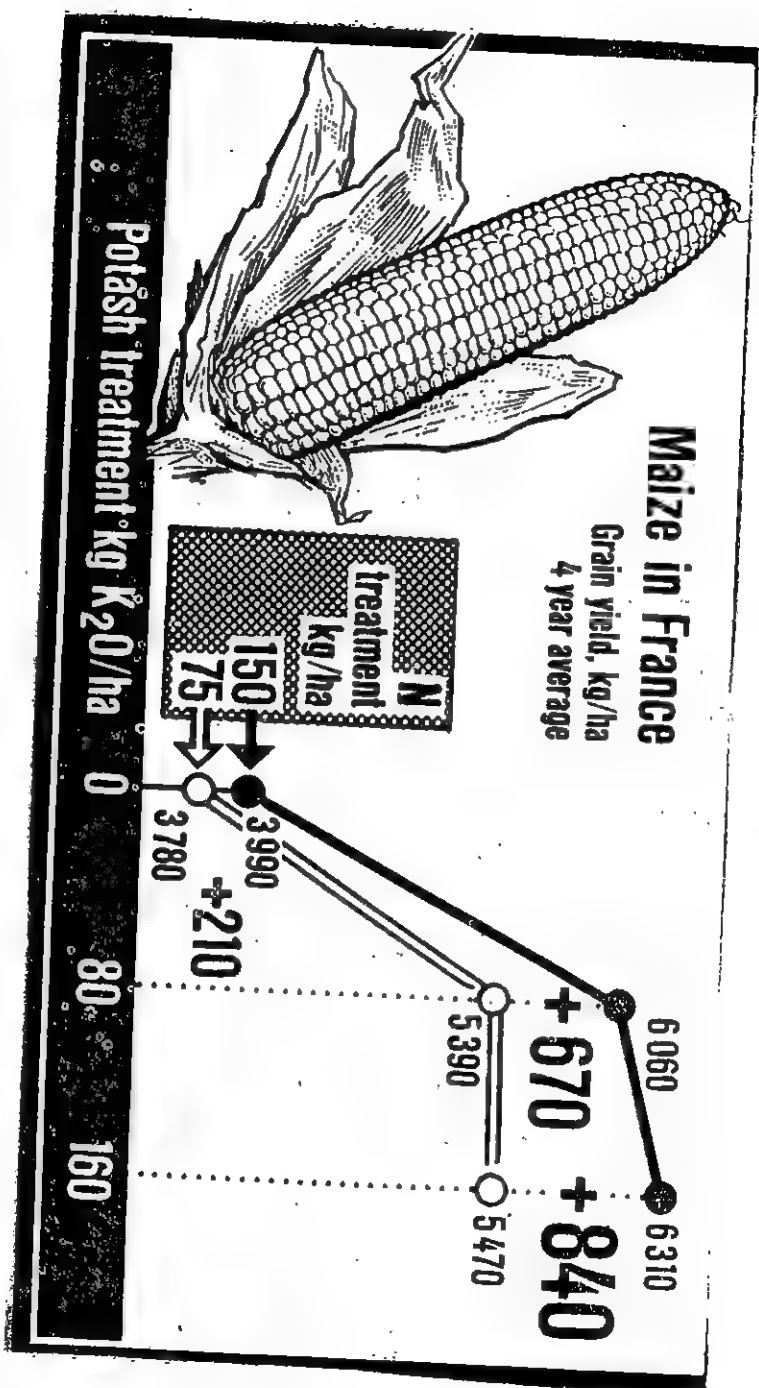
- | | |
|--|------------------------|
| 1- بدون تسميد بوتاسي | 210 + كغم حبوب / هكتار |
| 2- بإضافة 80 كغم K_2O | 670 + كغم حبوب / هكتار |
| 3- بإضافة 160 كغم K_2O | 840 + كغم حبوب / هكتار |



الشكل (17) تأثير مستوى التسميد البوتاسي على كفاءة استجابة محصول الشعير للتسميد النيتروجيني (Macleod, 1969).

وبهذا يمكن الاستنتاج ان اضافة 75 كغم /N هكتار يساعد على زيادة انتاجية حبوب الذرة الصفراء بمعدل اربع مرات عند اضافة المستوى 60 /K₂O كغم هكتار بالمقارنة مع المعاملة التي لم تسمد بالبوتاسيوم (الشكل 18).

وقد لوحظ ان طبيعة التداخل بين النيتروجين والبوتاسيوم تكون اكثر وضوحاً في المحاصيل البقولية وذلك لقدرة هذه المحاصيل على سحب النيتروجين الجوي وتثبيتته في عقد جذرية. ويساهم البوتاسيوم في زيادة قدرة هذه المحاصيل على تثبيت النيتروجين. فقد اوضحت نتائج تجربة (Haghparsat-Tanha, 1975) ان العقد الجذرية للباقلاء كانت اكبر في المعاملات المسمدة بكمية كافية من البوتاسيوم بالمقارنة مع المعاملات غير المسمدة (جدود 8). وفي تجربة أجريت في اليابان (Kemmler et al. 1978) اكدت قدرة البوتاسيوم على تشجيع تثبيت النيتروجين بواسطة المحاصيل البقولية وان تأثير البوتاسيوم كان بمعدل زيادة (128) كغم /N هكتار سنوياً في المعاملة المسمدة بمستوى 300 كغم /K₂O هكتار بالمقارنة مع المعاملة المسمدة بمستوى صفر كغم K₂O لكل هكتار (جدول 9). اي ان كل كغم K₂O اضيف ساعد على تمثيل 0.4 كغم من النيتروجين الجوي. ولهذا فان زيادة قدرة النبات على تثبيت النيتروجين ساعد على زيادة الانتاج.



الشكل (18) التأثير المتداخل للتسميد البوتاسي والنايتروجيني على انتاجية الذرة الصفراء
(Rapports SCPA, 1982)

جدول (8) تأثير تركيز البوتاسيوم على تثبيت الباقلاء للنايتروجين ، عدد العقد الجذرية لكل نبات ووزن العقد الجذرية

(Hagparast-Tanha, 1975)

1130	853	580	كمية النايتروجين المثبتة بالعقد الجذرية
251	250	233	عدد العقد الجذرية لكل نبات
8.4	7.2	6.5	الوزن الطري لكل عقدة جذرية (ملغرام)
4.5	1.5	0.5	تركيز البوتاسيوم في المحلول المغذي ملي مكافئ / لتر

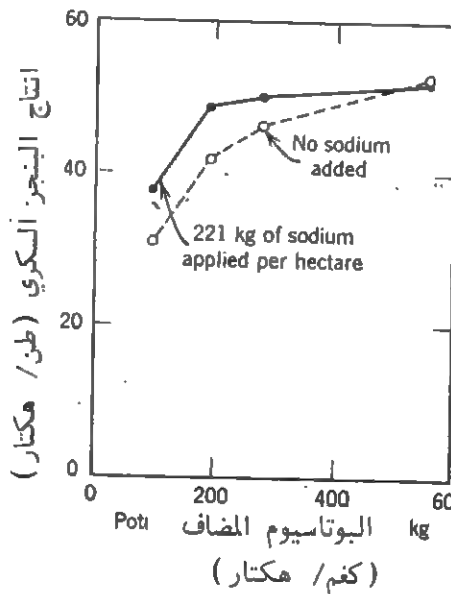
جدول (9) تثبيت النايتروجين بواسطة بعض المحاصيل العلفية المزروعة في تربة مزيجية رملية والمسمدة بمستويات مختلفة من البوتاسيوم (Kemmler et al. 1978)

النايتروجين المثبت ، كغم / N هكتار	
$K_0 = 583$	تأثير إضافة $K = 127.8 +$

معدل متوسطات خمس سنوات ، كغم / هكتار		
كمية K_2O المضافة (كغم / هكتار / سنوياً)		
300	0	
192.5	54.8	البرسيم
179.7	61.8	الحج
186.1	58.3	المتوسط

العلاقة بين الصوديوم والبوتاسيوم

إن دراسة العلاقة بين الصوديوم والبوتاسيوم هي من ناحية قدرة ايون الصوديوم على أن يحل محل البوتاسيوم والقيام بجميع العمليات الحيوية والتأثيرات المنشطة التي يقوم بها البوتاسيوم أو بعضها وقد لوحظ أن الصوديوم قد يتص بكمية لا بأس بها بواسطة الجذور ولكن قليلاً منه ينتقل الى المشاركة في العمليات الحيوية (Black, 1968). في حين أشار (Tinker, 1965) من خلال نتائج 42 تجربة حقلية الى أن قدرة كلوريد البوتاسيوم على زيادة إنتاج السكر في محصول البنجر السكري مساوية لقدرة كلوريد الصوديوم. أي أن إضافة كل من العنصرين على انفراد للمقارنة لا يؤثر على الانتاج ولهذا فإن للصوديوم قدرة إستبدالية كاملة لدور البوتاسيوم في محصول البنجر السكري. وقد يفضل هذا المحصول أيون الصوديوم كما إن زيادة امتصاص هذا العنصر يؤدي الى زيادة الانتاج حتى عند غياب ايون البوتاسيوم (الشكل 19).



الشكل (19) تأثير إضافة كلوريد الصوديوم على إنتاجية السكر في محصول البنجر السكري العامل بمستويات مختلفة من كلوريد البوتاسيوم (Shepherd et al 1959).

وقد بين (Yoshida and Castaneda, 1969) بأن ايون الصوديوم له التأثير الايجابي في زيادة الانتاج في حالة نقص البوتاسيوم ولكن وفرة البوتاسيوم يقلل هذا التأثير للصوديوم (جدول 10).

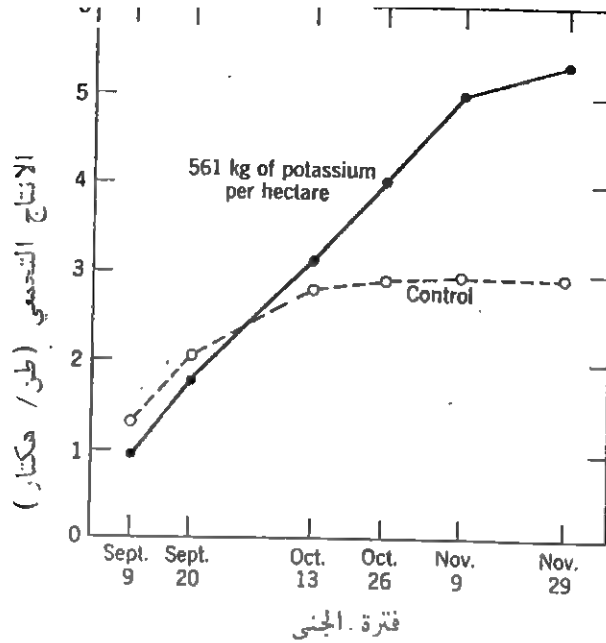
جدول (10) العلاقة بين تركيز الصوديوم والبوتاسيوم في المحلول المغذي وانعكاس ذلك على انتاجية محصول الرز .

تركيز البوتاسيوم ملي مول / لتر	إنتاجية الحبوب غم / سندان بدون صوديوم	إضافة Na ملي مول / لتر
0.025	4.6	11.6
0.125	26.4	46.6
0.25	63.3	67.3
2.50	90.8	87.6
5.00	103.6	92.6

وقد لا يكون هذا الامر سائداً في جميع المحاصيل الزراعية بل قد لا يستطيع الصوديوم ان يعوض دور البوتاسيوم وهذا يعتمد على سرعة إمتصاص النبات للصوديوم .

أعراض نقص البوتاسيوم

إن نقص البوتاسيوم يؤدي الى قصر الساق وإنخفاض الانتاجية ورداءة نوعية الثار . ويؤدي نقص البوتاسيوم أيضاً الى إنخفاض محتوى مكونات النبات من الكاربوهيدريت كما يساهم في ظهور التجمعات والذبول داخل بعض الثار خصوصاً الطماطة والبطاطا ، ويعمل على غياب اللون في بعض الثار مثل التفاح وفي حالة الطماطة يكون معدل تطور اللون بطيئاً . وان نقص البوتاسيوم يؤدي الى رداءة نوعية اوراق التبغ لانه يقلل من الألياف المميز في الاوراق . كما يعمل على تكوين حبوب فارغة في محاصيل الحبوب وتكون قرون البقوليات فارغة واللهانة غير ملفوفة وحموضة الحمضيات قليلة مع إنخفاض محتوى الدهون في حبوب المحاصيل الزيتية . كما إن نقص البوتاسيوم يعجل مرحلة النضج (الشكل 20) . ولكن يبقى انتاج المعاملات المسمدة بالبوتاسيوم اعلى من المعاملة غير المسمدة اذا إستثنينا فترات الجني الاولى والثانية .



الشكل (20) الانتاج التجميعي أو التراكمي Cumulative yield لبذور القطن المأخوذ بفترات مختلفة من معاملات عوملت بالبوتاسيوم والأخرى غير معاملة (Bennett et al 1965) في تربة مزيجية رملية .

وهذا يعني إن للبوتاسيوم دوراً كبيراً في زيادة الانتاج . وقد أشار (Wang et al 1953) الى دور البوتاسيوم في زيادة قدرة النبات على مقاومة البرد (درجات الحرارة المنخفضة) إذ ان زيادة محتوى النبات من البوتاسيوم وتقليل محتواه من النايروجين يساعد على مقاومة اكبر من قبل النبات لظروف انخفاض الحرارة (جدول 11) . وتتلخص ميكانيكية دور البوتاسيوم في قدرته على تنشيط الانزيمات الناقلة للكاربوهيدريت التي تفقد نشاطها في ظل ظروف البرد مما يؤدي ذلك الى زيادة تركيز الكاربوهيدريت الذائبة إذ يعرقل ذلك عملية التركيب الضوئي والعمليات الحيوية الاخرى . ولهذا فإن للبوتاسيوم دوراً هاماً في فصل الشتاء للحفاظ على النبات .

جدول (11) تأثير البوتاسيوم على نسبة النباتات الميتة بسبب البرد ، محتوى جذور النبات من الكربوهيدرات وعلى محتوى البوتاسيوم في الجذور المحسوبة في اجزاء نبات البرسيم المنزرع في أواخر الخريف (Wang et al 1953).

محتوى الجذور من الكربوهيدرات (%)		محتوى البوتاسيوم في جذور النبات (%)	النباتات الميتة بسبب البرد (%)	درجة حرارة عصارة جذور النبات (م)	محتوى البوتاسيوم المتبادل ملغم/ غرام تربة
النشا starch	السكر sugars				
8.1	9.5	0.44	50	-1.06	50
9.4	12.6	0.63	20	-1.24	150

إن نقص البوتاسيوم يؤدي الى تلون الاوراق بلون بني والى موت الاوراق القديمة كما تكون قمم الاوراق محروقة وغالباً ما تنتشر بقع فاتحة اللون على سطح الورقة وتكون الورقة صغيرة الحجم . إن البوتاسيوم عنصر متحرك جداً في النبات ويتحرك داخل النبات الى الاجزاء الحديثة التكوين تاركاً الاجزاء القديمة تعاني من النقص (جدول 12) .

جدول (12) اعراض نقص البوتاسيوم ومحتوى اوراق التبغ بعد اضافة مستويات مختلفة من البوتاسيوم بصورة كبريتات البوتاسيوم (Bowling & Brown, 1947).

محتوى المادة الجافة من البوتاسيوم (%)			اعراض نقص البوتاسيوم	البوتاسيوم المضاف كغم/ هكتار
الاوراق العليا	الاوراق المتوسطة	الاوراق السفلى		
1.3	0.6	0.6	شديد جداً	0
2.2	1.6	1.0	شديدة	22
2.8	2.5	2.4	متوسطة	45
3.1	4.4	5.3	لا توجد اعراض نقص	112
4.7	5.4	6.2	لا توجد اعراض نقص	157

وبشكل عام فإن محتوى المادة اجماعه من 27-30% من حمض البوتاسيوم ويزداد الزيادة عن هذا الحد قد تؤدي في معظم الاحوال الى حالة السمية في حين يمكن اعتبار 2% الحد الحرج لمعظم المحاصيل الزراعية . ولا بد من القول بأن لهذه النسبة الحرجة عوامل خاصة تحدد قيمتها في كل جزء من اجزاء النبات . فنوع النبات ومرحلة نموه لها دور كبير في تحديد المقاسات العامة المطلوبة لمحتوى البوتاسيوم في أنسجة النبات . فالبوتاسيوم عنصر يقل محتواه في أنسجة النبات مع تقدم العمر بسبب انخفاض الاحتياج العام لهذا العنصر .

الاسمدة البوتاسية

1- كلوريد البوتاسيوم KCl

وهو سماد رخيص بسبب قلة تكاليف صناعته . . يحتوي على البوتاسيوم بنسبة 50% ($60\% K_2O$) والكلوريد بنسبة 47.5% ومحتواه من كلوريد الصوديوم (2.8-2.9) . لذا فانه يعتبر من الاسمدة المفضلة في مزارع البنجر السكري واللحانة ويعد أيضاً سماداً غير مناسب للاراضي المتأثرة بالملوحة بسبب محتواه العالي من الكلوريد .

2- كبريتات البوتاسيوم K_2SO_4

وهو سماد غالي الثمن بسبب ارتفاع تكاليف صناعته يحتوي على البوتاسيوم بنسبة 43% ($52\% K_2O$) والكبريتات بنسبة (17-18.5) والكلوريد بنسبة (1.0-2.5) والصوديوم بنسبة (0.1-1) . يفضل هذا السماد لمختلف المحاصيل الزراعية مثل التبغ والبطاطا وغيرها من المحاصيل الاقتصادية .

3- نترات البوتاسيوم

هو سماد جيد لكونه مصدراً لتجهيز التربة بالبوتاسيوم والنايتروجين يحتوي على البوتاسيوم بنسبة 37% ($44\% K_2O$) وعلى النايتروجين بنسبة 13% ويستخدم هذا السماد غالباً لتسميد الحدائق واشجار الفاكهة ومحاصيل زراعية اخرى وبالأخص ذات الحساسية العالية للكلوريد . مثل التبغ والقطن .

4- السماد البوتاسي المخلوط

وهو عبارة عن خليط من كبريتات البوتاسيوم وكبريتات المغنيسيوم ويحتوي هذا السماد على بوتاسيوم بنسبة 18% ($22\% K_2O$) ومغنيسيوم بنسبة 11% ($18\% MgO$) وعلى كبريتات بنسبة 22% وعلى كلوريد بنسبة (1.0-2.30) وعلى صوديوم بنسبة (0.72-0.78) . ويعتبر هذا السماد كمصدر مجهزاً للبوتاسيوم والمغنيسيوم والكبريت بنفس الوقت .

توجد أسمدة أخرى للبوتاسيوم بعضها أسمدة اعتيادية أي يعتبر مصدراً مجهزاً للبوتاسيوم فقط مثل كربونات البوتاسيوم وبيكاربونات البوتاسيوم . في حين توجد هنالك أسمدة مركبة تجهز التربة عناصر غذائية أخرى يحتاجها النبات مثل سماد فوسفات البوتاسيوم والاسمدة المركبة (NPK) المختلفة بالإضافة الى تجهيزها بالبوتاسيوم .

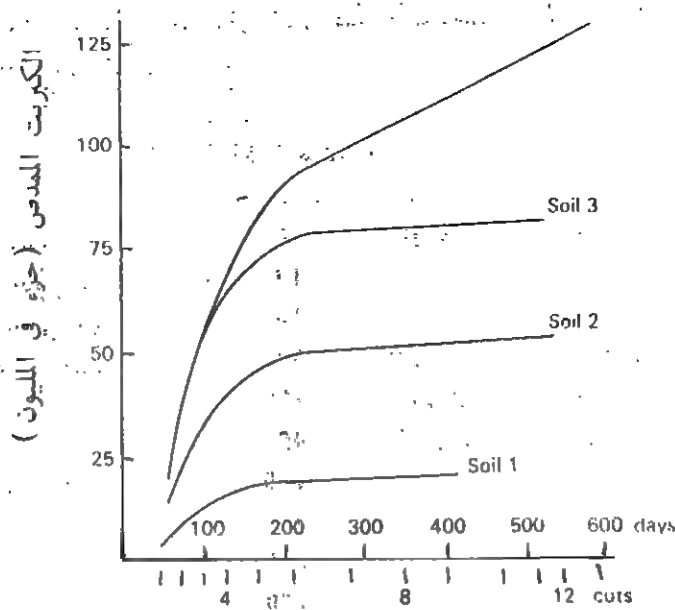
إن معظم الاسمدة البوتاسية ذائبة بالماء ، لذا فإن الاختيار يتم على أساس مقدار الضرر الذي سيعمله الايون المرافق وكذلك تكاليف صناعة السماد والمردود الاقتصادي المتكون بسبب الجرعة المضافة .

كمية البوتاسيوم المضافة

سبق أن اشرنا الى أهمية عنصر البوتاسيوم لنمو النبات ودوره المؤثر في مختلف العمليات الحيوية داخل النبات . لذا فإن متوسط احتياج النبات من البوتاسيوم يقع بحدود 1-3% بوتاسيوم في المادة الجافة وقد تزداد هذه النسبة لتصل الى 8% او اقل في بعض المحاصيل . ان معدل كمية البوتاسيوم المضافة هيئة أسمدة للتربة يتحدد وفقاً للنقاط التالية :

- (1) محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز ومعدل انطلاقه .
- (2) نوع المحصول المراد زراعته وطول موسم النمو .
- (3) مستوى الانتاج المطلوب .
- (4) عدد المحاصيل الزراعية المراد زراعتها لتغطية الجرعة المطلوب إضافتها .
- (5) خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية .
- (6) نوعية المجموع الجذري ومدى إنتشاره .
- (7) وقت الزراعة .

إن من العوامل المحددة لكمية البوتاسيوم الى التربة لاي محصول يراد زراعته هو محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز . فقد اشارت نتائج (Barber, 1970) الى أن اضافة الاسمدة البوتاسية بشكل اعتباطي للتربة له مردود سلبي على الانتاج وبالأخص عندما يكون محتوى التربة من البوتاسيوم الجاهز عالياً . (الشكل 21) . وهذه النتائج تدفعنا الى ادراك اهمية تقدير الكمية الجاهزة واعتبارها أساساً مهماً لتقدير الاحتياجات السمادية .



الشكل (21) العلاقة بين كمية البوتاسيوم المضافة لترب مختلفة المحتوى من البوتاسيوم المتبادل والانتاج لحصول الذرة الصفراء .

وإن لنوع المحصول أهمية لا يمكن تجاهلها . فإن كان الهدف الحصول على إنتاج مناسب يتطلب معرفة الإحتياج الفعلي لأي محصول . فقد بينت النتائج التي توصل إليها (Barber, 1970) أن معدل إحتياج محاصيل الحبوب (الصغيرة) مثل الشعير أقل من محاصيل الحبوب (الكبيرة) مثل الذرة الصفراء . فقد وجد أن معدل استجابة المحاصيل المختلفة المزروعة في دورة زراعية طويلة استمرت 18 سنة للبوتاسيوم المضاف كان : الذرة الصفراء 29% ، فول الصويا 24% ، الحنطة 6% ، البرسيم والجت 26% . وقد بين (Krikbye & Mengel, 1980) اختلاف إحتياج المحاصيل للبوتاسيوم (جدول 13) .

التربة 1	التربة 2	التربة 3	التربة 4
1.96	2.66	1.69	1.78
9.0	14.0	33.5	72.0
البوتاسيوم في الطين (%)			
البوتاسيوم المتبادل ملغم لكل 100 غرام تربة			

جدول (13) احتياج المحاصيل الزراعية للبوتاسيوم الجاهز خلال فترة النمو اللازمة لأقصى انتاج .

المحصول	الكمية (كغم/ هكتار)	المحصول	الكمية (كغم/ هكتار)
الشعير (حبوب)	10	اللحانة	120
الحنطة (حبوب)	14		
الشوفان (حبوب)	14		
الذرة الصفراء (حبوب)	37	العنب	110 كغم/ هكتار/ سنوياً
الجت	170	البرتقال	120 كغم/ هكتار/ سنوياً
البرسيم	95	الليمون	115 كغم/ هكتار/ سنوياً
التبغ (اوراق)	110		
القطن	33		
البطاطا	140		
الطماطا	150		

ولا يمكن تجاهل طول موسم النمو وطبيعة المجموع الجذري ومدى انتشاره في تحديد تلك الكمية اللازمة لنمو افضل للمحاصيل الزراعية . كما تؤدي الخواص الفيزيائية والكيميائية دوراً هاماً في تحديد الكمية المطلوبة ولا بد من الاشارة هنا الى التركيب المعدني للتربة وقدرة المعادن المختلفة على تثبيت البوتاسيوم . عموماً فإن الترب ذات القدرة التثبيتية للبوتاسيوم العالية تحتاج اضافة عالية من الاسمدة للوصول الى افضل مستوى مطلوب . كما ان لقوام التربة تأثيراً واضحاً على تحديد الكمية ، فالترب التي تمتلك مواقع P-position فقد أو الترب الرملية تحتاج اضافة محددة تتناسب مع قدرة هذه الترب على الاحتفاظ بالبوتاسيوم ضد تأثير سرعة الغسل والفقد مع مياه الري .

طريقة وموعد اضافة الاسمدة البوتاسية

تضاف الاسمدة البوتاسية للمحاصيل الزراعية بطرق مختلفة اهمها :

- (1) تلقياً banding مع أو قرب البذور اثناء الزراعة .
- (2) نثراً ^{بمعدلات} broadcasting على السطح .
- (3) نثراً على السطح ثم الخلط مع تربة الطبقة السطحية . ويمكن اضافته بعد الحراثة مباشرة قبل التنعيم .

وتحدد الكمية المضافة طريقة الاضافة ، فعندما تكون الكمية قليلة فان طريقة الجور ستعطي كفاءة اعلى من طريقة النثر السطحي . فقد وجد (Welch et al. 1966) ان كفاءة طريقة الاضافة السطحية للبوتاسيوم المضاف للذرة الصفراء تقع بحدود 0.33 الى 0.47 من كفاءة الأضافة بطريقة التلقم في حين ان كفاءة طريقة الخلط مع تربة الطبقة السطحية تقع بحدود 0.69 الى 0.88 من كفاءة طريقة التلقم عندما كانت الكمية المضافة تتراوح بين 0 الى 74 كغم / هكتار . وقد اكدت ذلك النتائج التي توصل اليها (Parks & Walker, 1969) التي اشارت الى ان كفاءة الاضافة السطحية تشكل 73% من كفاءة الاضافة يحور عندما كانت الكمية المضافة تتراوح بين 0-84 كغم / هكتار ولخصائص التربة دور هام في اختيار طريقة الاضافة ، كما ان خصائص جذور المحصول المراد زراعته وطبيعته ومحتوى التربة من الرطوبة لها دور في ذلك ايضاً وتفضل طريقة الاضافة بالتلقم في الاراضي ذات السعة التثبيتية العالية غالباً . وعند وفرة الرطوبة فإن طريقة النثر السطحي مع الخلط بالتربة سيكون لها تأثير فعال في زيادة البوتاسيوم للنبات ، كما تفضل هذه الطريقة للمحاصيل ذات المجاميع الجذرية السطحية الانتشار .

وبشكل عام إن معدل الاحتياج يقع بحدود 40 الى 250 كغم / هكتار سنوياً معتمداً على نوعية النبات وخصائص التربة مع تقدر دقيق لحجم الضائعات والخسائر (كالفسل والتثبيت) وكمية العائد والمنطلق من خلال عملية التجويه الى المحلول . ومن هذه الخصائص تتحدد طريقة الاضافة المناسبة . وغالباً ماتضاف الاسمدة البوتاسية قبل الزراعة بفترة قليلة او مع الزراعة دفعة واحدة ، وتقسم بدفعتين إن كان موسم النمو طويلاً ..

قائمة المصادر

- 1- Amberger, A., Gutser, R. and Teicher, K. (1974) Plant and Soil 40: 269-284
- 2- Arnoid, P.W. and Close, B.M. (1969) J. Agric. Sci. Comb, 57, 381.
- 3- Baden, W. (1965) Kali-Briefe, Fachgeb. 7, 1.
- 4- Barber, S.A. (1970) Int. Symp. Soil fert. New Delhi 1: 232-256.
- 5- Bennett, O.L., Rouse, R.D., Ashley, D.A. and Doss, B.D. (1965) Agron. J. 57: 296-299.
- 6- Black, C.A. (1968) Soil-Plant Relationship 2nd ed Wiley, New York.
- 7- Bolt, G.H, Sumner, M.E. and Kamphorst, A. (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 294-299.
- 8- Bowling, J.D. and Brown, D.E. (1947) U.S. Dept. Agr. Tech. Bul. 933.
- 9- Braunschweig, L.C. & Grimme, H. (1973) Z. Pfl. Ernahrung U. Bodenkunde, 134: 246-256.
- 10- De Mumbrum, L.E. and Hoover, C.D. (1958) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 22: 222-225.
- 11- Gaafer, A. (1980) In 6th Intra. Scientific Conference (1982) Inst. Tropical Agri. Univ. Leipzig GDR.
- 12- Grimme, H., Nemeth, K. and von Braunschweig, L.C. Landw. Forsch. 26/ I. Sonderh., 165-176.
- 13- Haeder, H.E.; Mengel, K. and Forster, H. (1975) J.Sci. Fd. Agric. 24: 1479-1487.
- 14- Haghparast-Tanha (1975) In 6th Intra. Scientific Conference (1982) Inst. Tropical Agri. Univ. Leipzig GDR.
- 15- Havlin, J.L., Westfall, D.G. and Olsen, S.R. (1985) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 49: 371-376.
- 16- Lambert, R.P. (1958) Potassium Symposium. P. 319-344

- 17- Jackson, B.L.J. and During, C. (1979) *Plant & Soil* 51: 197-204.
- 18- Kaila, A. (1965) *Soils & Fert.* 29: 818.
- 19- Kock, K. and Mengel, K. (1978) *Agron. J.* 69: 477 480.
- 20- Lindsay, w.l. (1979) *Chemical equilibria in Soil* Wiley, New Youk.
- 21- Macleod, L.B. (1969) *Agron. J.* 61: 26-29.
- 22- Mengel, K. (1985) *Adv. in Soil Sci.* 2: 65-131.
- 23- Mengel, K. and Kikby, E.A. (1982) *Principles of Plant Nutrition.* Inter. Post. Inst. Bern.
- 24- Mengel, K. and Wiechens, B. (1979) *Z.P flanzenera hr. Bodenk.* 142: 836-847.
- 25- Mortland, M.M. (1961) *Soil Sci.* 91: 11-13.
- 26- Mutscher, H. (1983) In the 6th Inter. Scientific Conference (1982) *Inst. Tropical Agri. Univ. Leipzig GDR.*
- 27- Page, J.B. and Baver, L.D. (1939) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 4: 150-155.
- 28- Page, A.L. & Ganjel, T.J. (1964) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 199-202.
- 29- Parks, W.L. and Walker, W.M. (1966) Manuscript Submitted to *Agron. J.*
- 30- rapports. SCPA (1982) Mulhouse/ France.
- 31- Reitemier, R.F. (1951) *Soil Potassium Acadmic Press. Inc.* N.Y. 3: 113-164.
- 32- Rich, C.I. (1972) In *Potassium in Soil* P. 15-31.
- 33- Scheffer, F. and Schachtschabe, P. (1976) *Textbook of Soil Science* 9th ed stutagart. Berns.
- 34- Scott, A.D. and Smith, S.J. (1966) *Biochim, Boiphys. Acta.* 12: 401-404.
- 35- Shepherd, L.N., Shickluna, J.C. and Davis, J.F. (1959) *Amer. Soc. Sugar Beet Technol.* 10: 603-608.
- 36 - Stanford, G. and Pierre, W.H. (1947) *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 11: 155-160.

- 37- Tablabia, M.A. and Hanway, J.J. (1969) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 105.
- 38- Tisdal, S.L. and Nelson, W.L. (1975) Soil fertility and fertilizer 3rd ed. Macmillan Pubh. Co., Inc.
- 39- Verma, G.P. (1963) Ph. D Thesis, Iowa State Univers.
- 40- Wang, L.C., Attoe, O.J. and Truog, E. (1953) Agr. J. 45. 381-384.
- 41- Welcl, L.F., Johnson, P.E., Mckibben, G.E., Boone, L.V. and Pendleton, I.W. (1953) Agron. J. 58-618-621.
- 24- Williams, M.C. (1960) Plant Physiol. 35: 500-505.
- 43- Yoshida, S. and Castaneda, L. (1969) Soil Sci. Plant Nutr. 15: 183-186.

الفصل الخامس

الكبريت - الكالسيوم - المغنيسيوم

1- الكبريت Sulpher

يعتبر عنصر الكبريت عنصراً هاماً في تغذية النبات . ويوجد في القشرة الأرضية بنسبة 0.11% . ويختلف محتوى النبات من الكبريت ومساهماته في بناء الأنسجة المختلفة وفقاً لنوع النبات ومرحلة نموه . ويكون محتوى النبات من الكبريت مساوياً لمحتواه من الفسفور غالباً .

مصادر الكبريت

يوجد الكبريت بالتربة أما بصورة معدنية وأما بصورة عضوية ويكون المصدر العضوي هو المصدر الرئيسي غالباً كما في Peat soil الذي يشكل نسبة لا تقل عن 90% من الكمية الكلية بالتربة . وبغض النظر عن المصدر العضوي الذي لا يمكن التقليل من أهميته إلا أن المصدر الأصلي وبشكله العام هو الصخور ذات الأصل البركاني ومنها أنتشر الكبريت في التربة نتيجة لعملية التجوية . وللايضاح لابد من دراسة جميع مصادر الكبريت كل على انفراد كالآتي :

1- الكبريت المعدني

ينتشر الكبريت المعدني نتيجة لعملية تجوية الصخور ذات الأصل البركاني ، لذا فإن محتوى الترب سيختلف وفقاً لنوع مادة الأصل وطبيعة التجوية . وتحتوي معادن السيليكات غالباً على أقل من 0.01% من الكبريت الكلي . أما الصخور النارية فإنها تحتوي على نسبة أعلى قد تصل الى ما بين 0.02-0.07% . وتمتد محتوى الصخور الرسوبية على مصدرها . (جدول 1) .

جدول (1) محتوى بعض الصخور للكبريت المعدني (Ricke, 1960)

النموذج	الكبريت الكلي (S%)	الكبريت - هيئة كبريتات (% fo total-S)
طين	0.22	23
صخور رملية sandstone	0.02	77
صخور كلسية limestone	0.12	19
صخور رسوبية بحرية sea sediments	0.13	99

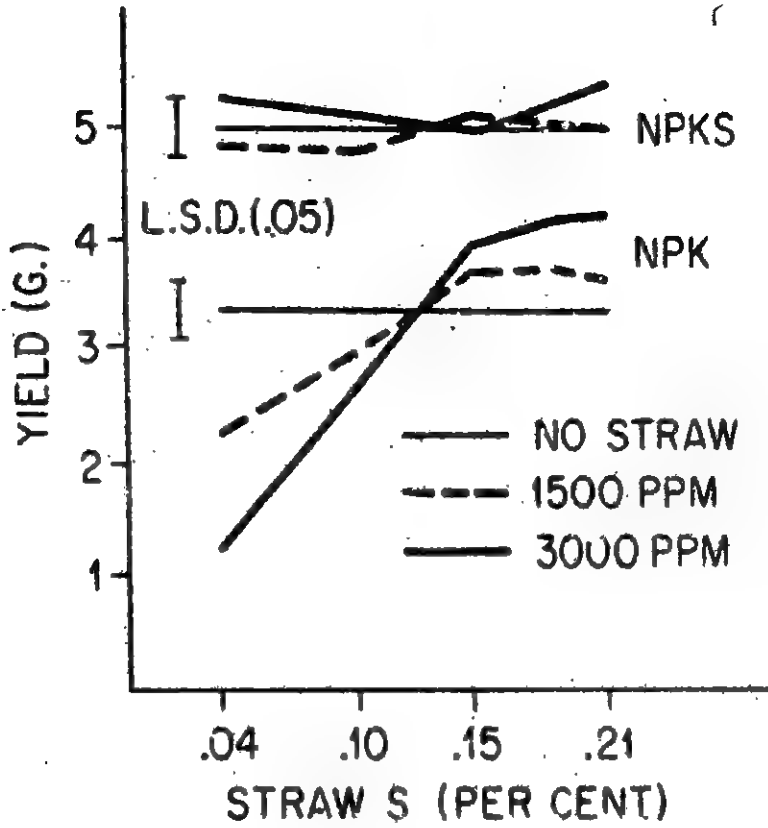
ويوجد الكبريت بالصخور على هيئة كبريتيد Sulphide مثل كبريتيد النحاس والحديد والنيكل Iron, nickel and Copper sulphides وخلال عملية التجوية يتأكسد مكوناً الكبريتات وبعد عملية التحرر والانطلاق يتعرض إلى العديد من التفاعلات كالأمدصاص والتثبيت والترسيب وغيرها .

2- الكبريت العضوي

إن أكثر من 90% من الكبريت يوجد بصورة عضوية إما بالدبال أو في المخلفات النباتية والحيوانية المضافة إلى التربة . وهذه المكونات تتحلل بفعل أحياء التربة ولهذا ينطلق الكبريت على هيئة كبريتات ويترك جزء لا بأس به من الكبريت في دبال التربة .

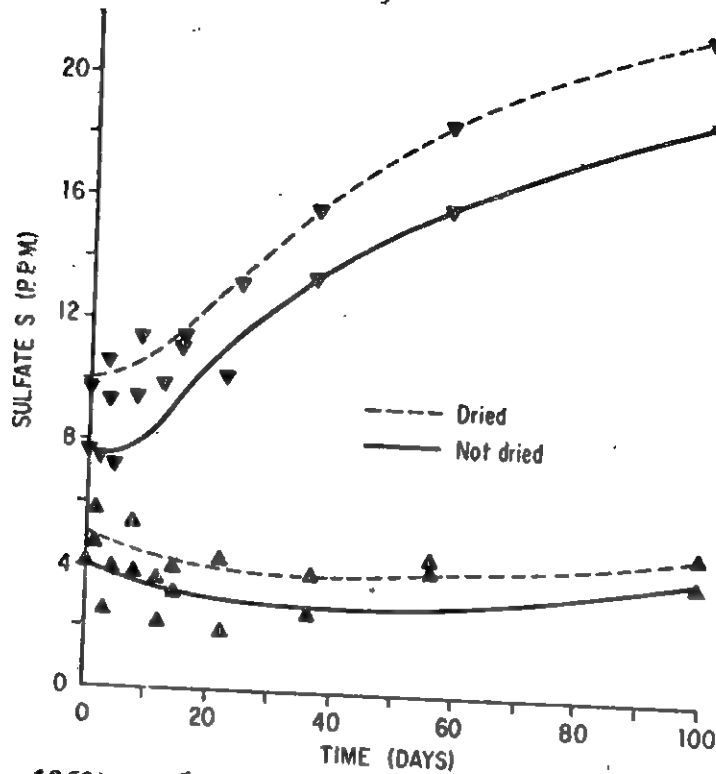
مقدنة الكبريت العضوي

إن وجود الكبريت هيئة مركبات عضوية يعني وفرة بصورة غير جاهزة للنبات . وهذا تأتي أهمية تحلل هذه المركبات خلال عملية المعدنة mineralization بفعل أحياء التربة المتخصصة وإن من أبرز العوامل التي تؤثر على سير عملية المعدنة هو محتوى المادة العضوية من الكبريت ، إذ أن زيادة هذا المحتوى يشجع عملية المعدنة . أي أن الكمية المتحررة من الكبريت العضوي بصورة معدنية تكون قليلة عندما يكون محتوى المادة العضوية قليلاً . ويمكن ملاحظة أن محتوى أي مادة عضوية يجب أن لا يقل عن 0.15% لأن ذلك يشجع على تدهور الكبريت المعدني للتربة . وكذلك فإن التدهور لمحتوى كبريت التربة المعدني يحصل أيضاً عندما تكون C:S و N:S عالية أي يكون محتوى الكبريت العضوي بالمادة العضوية واطئاً . ويمكن بيان ذلك من خلال الشكل (1) الذي



يظهر أن اضافة مخلفات الحنطة القليلة المحتوي بالكبريت الى التربة المسمدة بالنايتروجين والفسفور والبوتاسيوم والى تربة أخرى مسمدة بنفس الاسمدة السابقة بالاضافة الى الكبريت ثم زرعت هذه الترب بحصول الحنطة وهذا كان لمخلفات الحنطة المضافة الى التربة غير المعاملة بالكبريت تأثير على نمو الحنطة المزروعة كما أن اضافة الكبريت مع الاسمدة الاخرى كان له التأثير الفعال في عدم تدهور الكبريت العضوي والمعدني. إن اضافة كميات كبيرة من المخلفات ذات المحتوى القليل من النايتروجين والكبريت لها انعكاسات سلبية على نايتروجين التربة وكبريتها اذا لم تسمد هذه الترب بكميات من النايتروجين والكبريت.

وقد اشار (Barrow, 1961) الى أن التجفيف يشجع عملية المعدنة mineralization (الشكل 2). وان ميكانيكية الترطيب والتجفيف تزيد من تكسر المادة العضوية وتحللها وبذلك تساهم في زيادة معدل معدنة الكبريت من مصادره العضوية المختلفة.



الشكل (2) تأثير تجفيف تربتين قبل المحضن على معدنة الكبريت (Barrow, 1961).

ولابد من الاشارة هنا الى الظروف المناسبة لنشاط الاحياء الدقيقة المسؤولة عن عملية المعدنة كالتهوية ودرجة الحرارة والرطوبة و pH التربة ومحتوى المكونات العضوية من الكربون العضوي وغيرها من العوامل التي تؤدي دوراً منشطاً لعملية المعدنة عند وجودها بحالة مثالية .

3- الكبريت الجوي

يوجد الكبريت في الهواء الجوي بكمية كبيرة قد تصل الى 220 مليون طن . وان حوالي نصف هذه الكمية توجد بهيئة كبريتيد الهيدروجين (H_2S) وان مصدرها الاصلي المحيطات والبحار : وتحتوي مياه البحار على كمية قد تصل الى 44 مليون طن كبريت وقد جاءت هذه الكمية من اصل بركاني . ويوجد الكبريت ايضاً بهيئة غاز SO_2 في الهواء الجوي . وبشكل عام يحتوي هواء التربة على 10% من الكبريت الكلي وهيئة غاز SO_2 وكذلك غاز H_2S وغالباً ماتكون كمية الغاز الاخير قليلة رغم كون تأثير طبيعة المنطقة ومدى تأثيرها بمصادر التلوث من المصانع وكذلك بالبراكين ومصانع الفحم لها الاثر الاكبر في تحديد النسبة بين الغازين .

ينتقل الكبريت الجوي بهيئته SO_2 الى التربة مباشرة او بعد سقوط الامطار . وتختلف كمية SO_2 المضافة الى التربة بواسطة الامطار من منطقة الى أخرى وفقاً لانتشار المصانع وتأثيرها على محتوى الهواء الجوي من الكبريت وقد تصل الكمية من 10 الى 20 كغم لكل هكتار وقد تدمص التربة الكبريت الجوي مباشرة بالأخص عندما تكون رطبة . كما ان للنبات قدرة على الامتصاص المباشر لكبريت الهواء الجوي . ويعتقد ان النبات باستطاعته ان يأخذ نصف احتياجه (50%) من الهواء الجوي حتى عند توفر الكبريت بكمية مناسبة بالتربة . فقد اشار (Faller, 1970) الى ان انتاج محصول الذرة الصفراء يزداد مع زيادة تركيز SO_2 في الهواء الجوي وان انخفاض التركيز في الهواء الجوي يؤثر على الانتاج وكذلك على طبيعة الاوراق . وقد اشار (Davies, 1980) الى ان زيادة تركيز SO_2 في الهواء الجوي وهواء التربة يعتبر امراً ملائماً لنمو النبات وان استجابة النبات تختلف وفقاً لعمر النبات ونوعه .

وقد يضاف الكبريت الى التربة على هيئة اسمدة كيميائية معدنية او عضوية او محلولاً بواسطة مياه الري .

تفاعلات الكبريت بالتربة والعوامل المؤثرة

يتعرض الكبريت المعدني المتحرر من خلال عملية المعدنة او التجوية الى تفاعلات مختلفة مع مكونات التربة اذ تؤثر سلباً في معظم اتجاهاتها على جاهزية الكبريت للنبات . وسنحاول التطرق باختصار الى هذه التفاعلات والعوامل المؤثرة عليها :

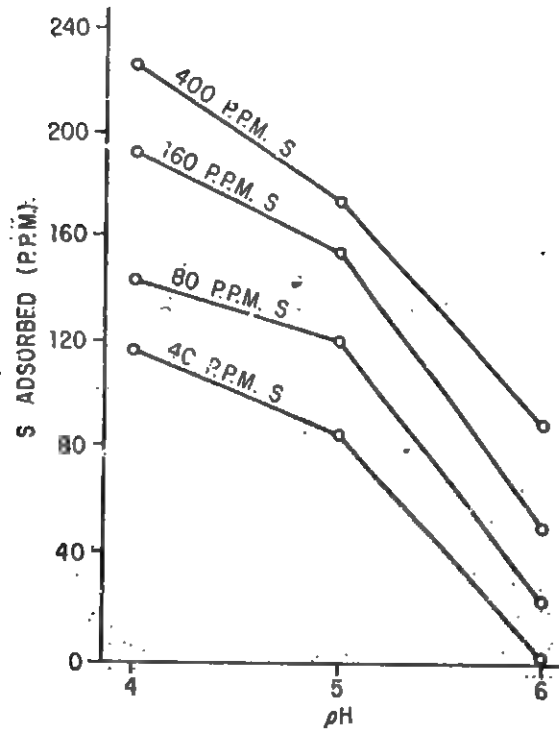
اولاً - تفاعلات الامدصاص

يتعرض الكبريت المعدني الذائب في محلول التربة بيئة ايونات الكبريتات (SO_4^{2-}) الى تفاعل خاص مع بعض معادن التربة وبالأخص مجموعة معادن 1: 1 مثل معدن الكاؤولينات والاكاسيد الحرة للالنيوم والحديد مما يؤدي الى عرقلة جاهزية الكبريت للنبات . وقد اشارت الكثير من الابحاث الى أهمية دراسة هذا التفاعل والعوامل المساعدة على تنشيطه او عرقلته التي يمكن اجمالها بالآتي :

1- درجة تفاعل التربة pH

ان انخفاض قيمة pH التربة يساعد على تشجيع امدصاص الكبريت بواسطة غرويات التربة التي تكتسب في الوسط الحامضي شحنة موجبة معاكسة لشحنة الكبريتات السالبة غالباً . ويمكن القول بان امدصاص الايوني للكبريتات يكون

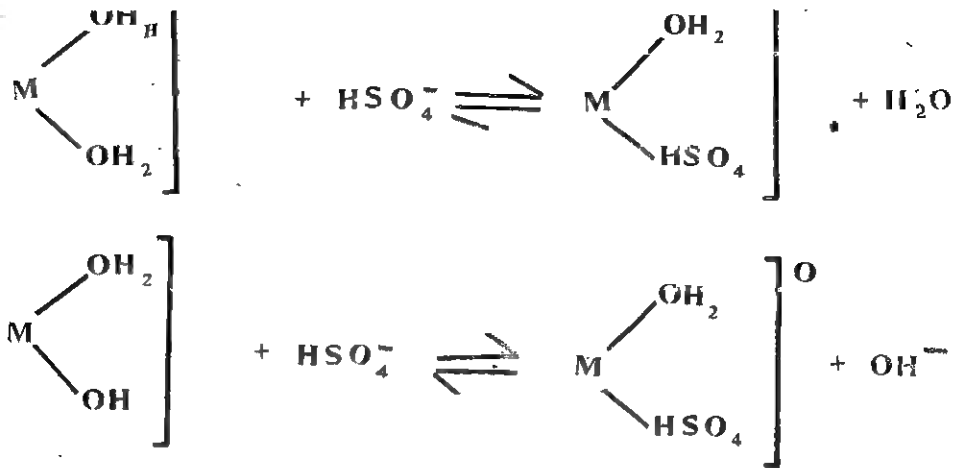
سائداً في الترب الحامضية وينخفض بشكل معنوي بالترب القاعدي التفاعل (Kamprath et al 1956) ولهذا فاننا لانتوقع اي دور لهذا التفاعل في عرقلة جاهزية الكبريت في الترب العراقية ويجدر الإشارة هنا الى ان زيادة كمية الكبريت المضافة يؤدي الى زيادة قدرة التربة الأمدصاصية وصولاً لتشبع جميع مواقع الامدصاص (الشكلا 3) وغالباً ما يؤدي ارتفاع قيم pH الترب الى انخفاض قابلية الترب لامدصاص الكبريت .



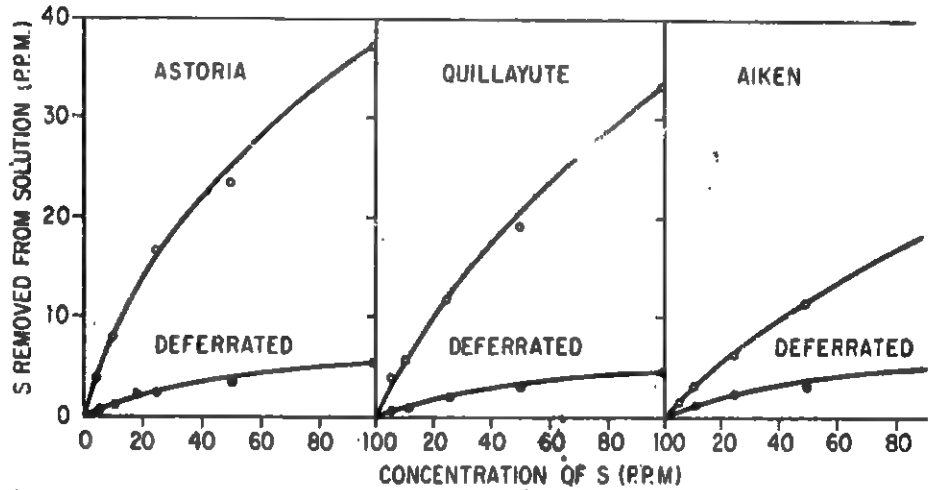
الشكل (3) تأثير قيم pH محلول التربة واختلاف تركيز الكبريت المضاف للتربة على كمية الكبريتات المدمصة (Kamprath et al 1956) .

2- محتوى التربة من الاكاسيد الحرة

يدمض الكبريت امدصاصاً نوعياً بواسطة الاكاسيد والهيدروكسيدات الحرة النشطة . وتحصل حالة الامدصاص في حالة كسب سطح الاكاسيد للشحنة الموجبة وكذلك عندما تكون متعادلة وفقاً للآتي :



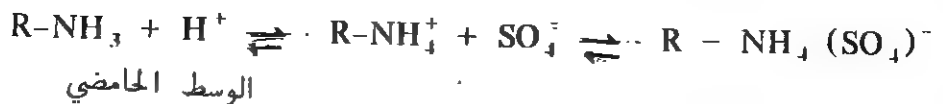
وقد اشار (Chao et al., 1962) الى تأثير ازالة الاكاسيد الحرة للحديد على امدصاص الكبريتات بثلاث ترب مختلفة. (الشكل 4).

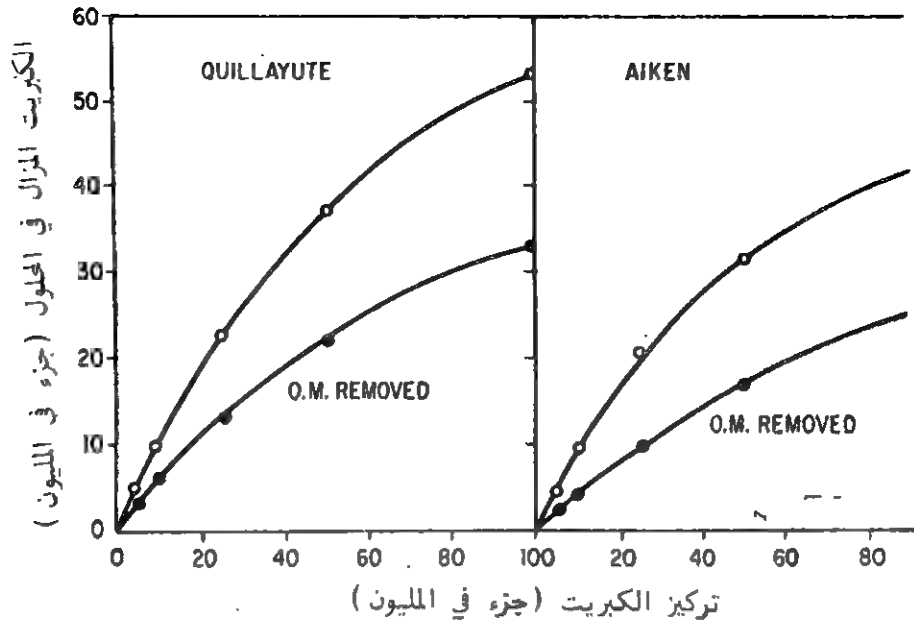


الشكل (4) تأثير ازالة الاكاسيد الحرة للحديد على امدصاص الكبريتات في ثلاث ترب ذات قدرة امدصاصية مختلفة.

3- محتوى التربة من المادة العضوية

ان وجود المادة العضوية يساعد على زيادة امدصاص الكبريتات. فقد أوضح (Chao et al., 1962) هذا التأثير في الترب الحامضية التفاعل (الشكل 5). ويمكن وصف التفاعل بالآتي:





الشكل (5) تأثير ازالة المادة العضوية على امدصاص الكبريتات في ترتيب ذات قدرة امدصاصية مختلفة (Chao et al. 1962).

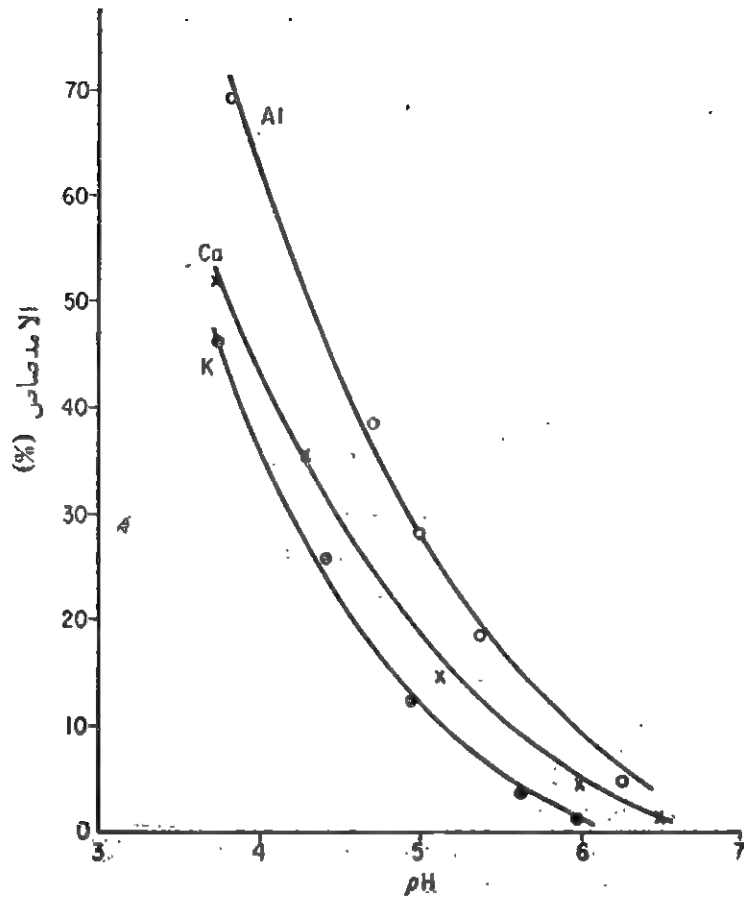
4- تأثير نوع الايون السائد على السطح
إن للايون الموجب السائد على السطح تأثيراً على امدصاص الكبريتات إذ لوحظ إن معدل الامدصاص يزداد عندما يكون الايون السائد الالمنيوم بالمقارنة مع سيادة ايون الكالسيوم أو البوتاسيوم . وقد أوضح (Chao et al. 1963) تأثير الايون السطحي وفقاً للآتي في زيادة قدرة التربة على امتصاص الكبريتات .



ويمكن إيضاح ذلك التأثير في الشكل (6) الذي يبين تأثير الكاتيونات السائدة على السطح مع تغير pH التربة على امدصاص الكبريتات .

5- تأثير نوع معدن الطين
أشارت عدة دراسات على تأثير نوع معدن الطين على امدصاص وجاهزية الكبريتات في الترب . فقد بينت نتائج (Chao et al. 1962) إن قدرة الترب على امدصاص الكبريتات تتحدد أيضاً وفقاً لنوعية معدن الطين ويمكن ترتيب قدرة المعادن وفقاً للآتي

الكاولينايت	<	الآليست	<	البنتونايت
Kaolinite	<	Illite	<	bentonite



الشكل (6) تأثير pH على امدصاص الكبريتات من $0.005 \text{ NK}_2\text{SO}_4$ بواسطة تربة شملت يايونات موجبة مختلفة

وهذا يعني القدرة العالية 1:1 بالمقارنة مع معادن 1:2. وقد أشار (Harward & Reisenauer, 1966) الى إن قدرة امدصاص الكاؤولينات للكبريتات أعلى من امدصاص معدن المونتوريلينات Montmorillonites.

إن امدصاص الكبريتات يؤثر بشكل معنوي على جاهزية الكبريتات للنبات وحركته في التربة مما يؤدي الى قلة الكمية المفقودة مع ماء الري فقد اشار (Harward & Reisenauer, 1966) الى زيادة الكمية المغسولة مع زيادة خشونة قوام التربة. في حين أوضح (Bardsley & Kilmer, 1963) إن كمية الكبريتات المغسولة مع ماء الري الزائد تزداد عند معاملة الترب الحامضية باللايم lime أو الفوسفات التي ستحتل مواقع امدصاص تاركة الكبريتات في محلول التربة. وكما اشار (Nielsen & Biggar, 1961) الى أن كمية الكبريتات المتحركة مع ماء الري الزائد تزداد تحت مختلف الظروف مع زيادة كمية الماء المضافة للتربة.

ثانياً : ترسيب الكبريتات

يترسب الكبريت في المناطق الجافة وشبه الجافة بهيئة املاح للايونات الموجبة السائدة مثل الامونيوم والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم . وقد يتراوح معدل الترسيب محدود 1- 127 كغم لكل هكتار . وتمتاز املاح الكبريتات بقلّة ذوبانها مثل الجبس gypsum . وقد يوجد الكبريت بهيئة مركبات حاوية على صورة الكبريتيد Sulfide وقد تسود هذه الحالة في الترب الرديئة التهوية والطينية الكتلّة ولكن وجودها في الترب الجيدة البزل والتهوية قليل جداً (Freney, 1981) . ويعتبر الجبس رغم قلّة أذابتها بالترب بأنها مصدر جيد لتجهيز النبات بالكبريتات .

فقد الكبريت من التربة

يتعرض الكبريت الموجود بالتربة الى فقد ، إما من خلال فقدّه على هيئة غاز الى الهواء الجوي أو بالغسل مع ماء الري الزائد . وسنحاول التعرف باختصار على هذين العاملين .

يفقد الكبريت بهيئة غاز من التربة الى الهواء الجوي ، وتقدر كمية الكبريت المفقودة سنوياً من التربة بحوالي 68 مليون طن حسب رأي (Davies, 1980) . وقد يفقد الكبريت في الظروف اللاهوائية على هيئة غاز H_2S ، وقد يفقد الكبريت ايضاً على هيئة SO_2 في الظروف الهوائية .

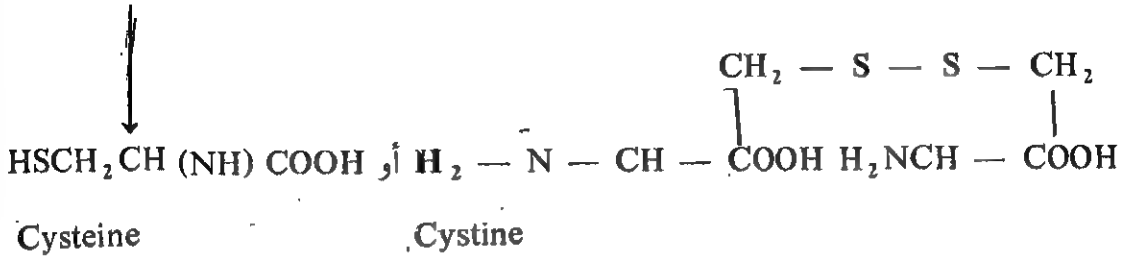
ان كمية من الكبريت يمكن أن تغسل الى الافاق السفلى خلال الري أو بعد هطول الأمطار وهذه الحالة قد تكون سائدة في المناطق الجيدة الصرف مما يشجع نقص الكبريت في مثل هذه الترب . وتعتمد الكمية المفقودة بالغسل على كمية ماء الري والأمطار ومحتوى التربة من الكبريت وكذلك قدرة التربة الامدصاصية للكبريتات . وقد تصل كمية الكبريت المفقود الى 50 كغم لكل هكتار .

الكبريت ونمو النبات

يتمص النبات الكبريت على هيئة ايون الكبريتات من خلال جذوره . وبعد عملية الامتصاص تحصل ميكانيكية الاختزال وبمساعدة الانزيمات وبذلك يتحول الكبريت المعدني بداخل النبات الى مركبات عضوية مختلفة أهمها الاحماض الامينية والبروتينات ويمكن ايجاز خطوات اختزال الكبريتات الممتصة من قبل النبات بالآتي :



S^{2-} ← بالاتحاد مع مركبات كربوهيدراتية ونايتروجينية

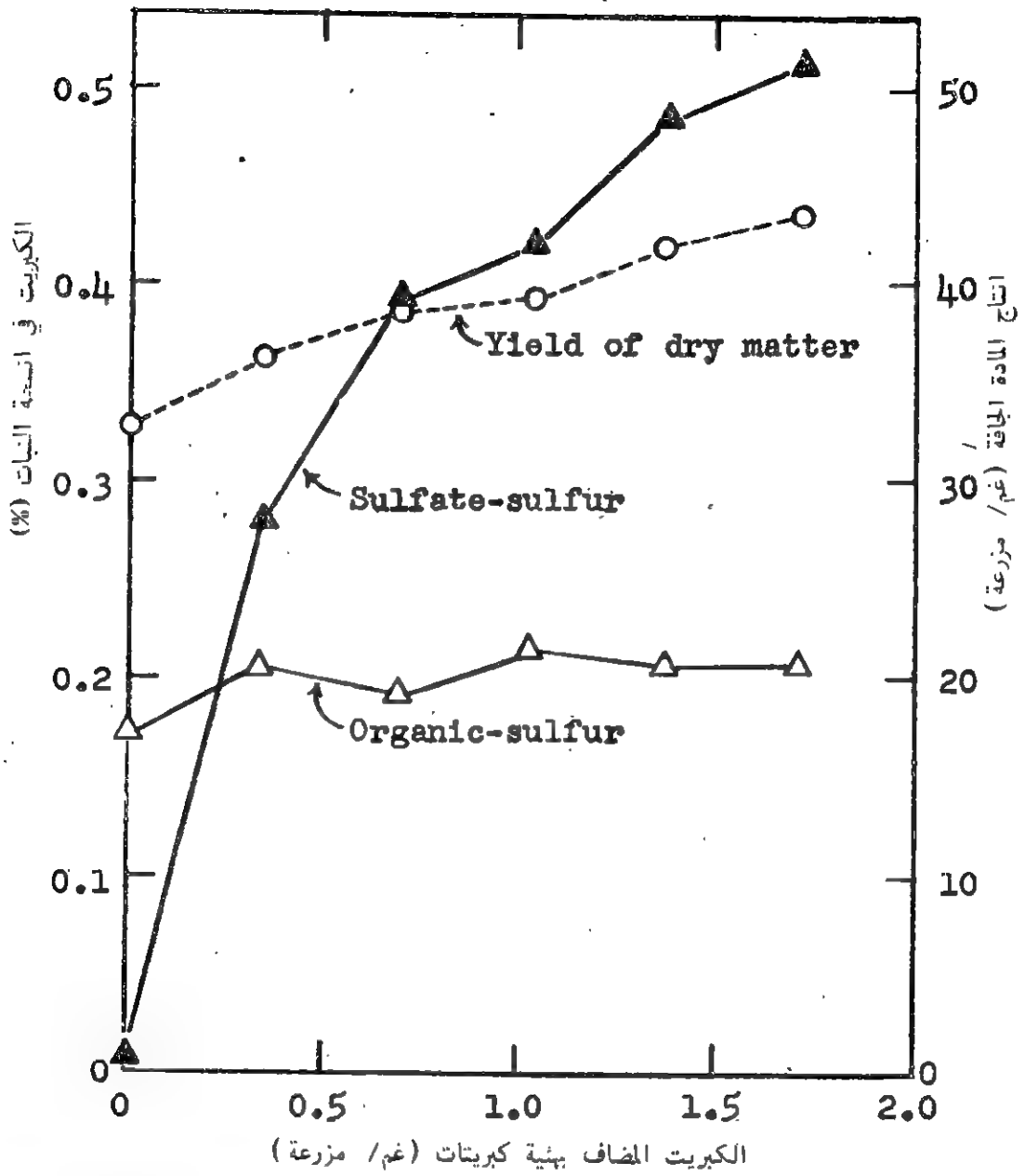


أو مركبات عضوية أخرى يدخل الكبريت بهيئة مجاميع (SH —) أو التركيب (— S — S —). وبهذا يساهم الكبريت مع العناصر الغذائية الأخرى في بناء أنسجة النبات وزيادة الإنتاج (الشكل 7).

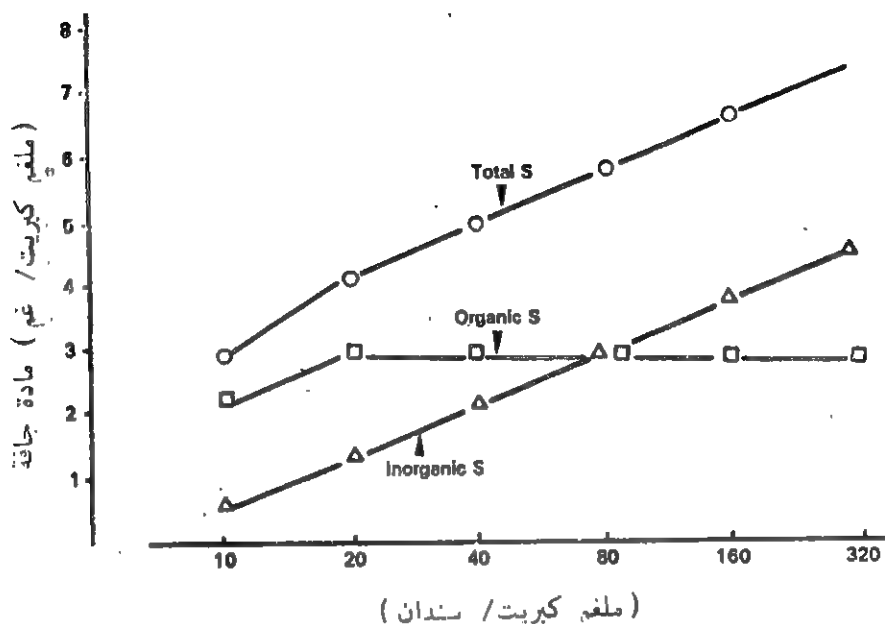
ومن خلال الشكل (7) يمكن الاستنتاج بأن للكبريتات دوراً مؤثراً في زيادة الإنتاج. بالإضافة إلى ذلك فإن محتوى النبات من الصور العضوية sulfur يزيد بمسئوى محدود جداً مع زيادة الكمية المضافة من الكبريتات بالمقارنة مع زيادة محتوى أنسجة النبات من الصور المعدنية inorganic sulfate.

إن المحتوى الكلى فى أنسجة النبات من الكبريت يتراوح بين 0.2-0.5% كبريت بالمادة الجافة. فقد درس (Ulrich et al. 1967) العلاقة بين الكمية الممتصة من الكبريت ومحتوى أنسجة البرسيم المزروع فى مزرعة محلول مغذى يحتوى على كمية غير كافية من الكبريت. فقد استنتجوا بأن زيادة كمية الكبريتات المضافة يؤدي إلى زيادة الصور العضوية الكبريتية فقط دون أي زيادة للصور المعدنية ولكن بعد حصول النبات لحدود كفايته تكون الزيادة فى الصور العضوية قليلة بالمقارنة مع الزيادة العالية فى محتوى النبات من الصور المعدنية. وتتفق هذه النتائج مع النتائج التى أشار إليها (Deloch, 1960) الذى يؤكد عدم تجمع الصور المعدنية فى أنسجة نبات عباد الشمس إلا بعد تجاوز حدود كفاية النبات من الكبريت (الشكل 8). ولهذا يمكن النظر باهتمام إلى الصور العضوية ودورها فى بناء أنسجة النبات.

يساهم الكبريت فى عملية تكوين البروتين ولهذا فإن وفرة الكبريت الجاهز بالتربة يساعد على زيادة محتوى النبات من البروتين الحاوي على كبريت. ومن هنا فإن دراسة النسبة $\frac{\text{N}}{\text{S}}$ فى النبات لها أهمية خاصة فى معرفة طبيعة البروتين



شكل (7) تأثير الكمية المضافة من الكبريتات على محتوى النبات من الصور العضوية والمعدنية والإنتاج للنبات المزروع في تربة رملية مزيجية والمعاملة بمستويات مختلفة من الكبريت (Saalbach and Judel, 1961).



الشكل (8) تأثير زيادة مستوى الكبريتات المضافة على محتوى أنسجة النبات من الكبريت الكلي والكبريتات المعدنية والكبريت العضوي في أنسجة أوراق عباد الشمس .

السائد في النبات . فقد أشار (Dijkshoorn & Van Wijk, 1967) الى اختلاف هذه النسبة مع اختلاف البروتين وموقعه في النبات . وقد أكدوا أن بروتينات الكلوروبلاستيدات Chloroplast proteins والبروتينات المرتبطة مع الاحماض النووية nucleic acids لها قيم واطئة من هذه النسبة بالمقارنة مع البروتينات الغنية بالكبريت (المجدول 2) .

جدول (2) نسبة $\frac{N}{S}$ في تركيب البروتينات السائدة في النبات

البروتين	نسبة $\frac{N}{S}$
Gliadin (بذور)	$\frac{33}{1}$
Albumin (بذور)	$\frac{28}{1}$
Chloroplast proteins	$\frac{15}{1}$
Nucleoproteins	$\frac{18}{1}$

وتتراوح نسبة $\frac{N}{S}$ في أنسجة النبات الذي يعاني من النقص بحدود $(\frac{80}{1} - \frac{70}{1})$ بالمقارنة مع النسبة الموجودة في أنسجة النبات الجيد النمو $(\frac{17}{1} - \frac{10}{1})$. وقد أكد (Smith & Moore, 1970) أهمية هذه النسبة باعتبارها الدليل الدقيق للتعبير عن محتوى النبات من الكبريت والنايتروجين وبيان مدى احتياج النبات لهذه العناصر.

وقد اشار (Ergle & Eaton, 1951) الى دور الكبريت في زيادة تمثيل ايون النترات الممتص من قبل النبات وقدرة الكبريت على زيادة محتوى النبات من الكربوهيدريت والمركبات الكربوهيدراتية النايتروجينية (جدول 3).

جدول (3) تأثير تركيز الكبريتات على محتوى النبات من الكربوهيدريت والمركبات العضوية الكبريتية والنايتروجينية

محتوى النبات					الكبريتات الذائبة (%)	الوزن الطري غرام	الكبريتات المضافة ppm
البروتين (%)	الصور العضوية النايتروجينية الذائبة (%)	NO ₃ -N (%)	محتوى السكر	الكبريت العضوية (%)			
0.96	2.23	1.39	0.0	0.11	0.003	13	0.1
1.28	2.21	1.37	0.0	0.12	0.003	50	1.0
2.56	1.19	0.06	1.5	0.17	0.009	237	10
3.25	0.51	0.00	3.1	0.26	0.10	350	50
3.20	0.45	0.10	3.4	0.25	0.36	345	200

وما تقدم يتضح لنا دور الكبريت المساهم في بناء أنسجة النبات وزيادة المحاصيل الزراعية المختلفة. فقد بينت معظم الدراسات الدور الايجابي للكبريت في زيادة الانتاج (Janzen & Bettany, 1984).

ويعدُّ الكبريت منشطاً لبعض الأنزيمات ويدخل في تكوين بعض الفيتامينات وكذلك الأنزيمات المساعدة. ويعمل على زيادة محتوى الزيت في المحاصيل الزيتية حسب ما أورده (Marquard et al. 1968). كما يعدُّ عنصراً مهماً لزيادة قدرة البقوليات على تثبيت النايتروجين لمساهمة في تكوين انزيم nitrogenase الذي يساهم في هذا التفاعل. لذا فإن احتياج البقوليات الى الكبريت يكون اكثر من المحاصيل الأخرى بالمقارنة مع الحشائش والحبوب. ووفقاً لذلك فإن محتوى أجزاء النباتات المختلفة من الكبريت تتفاوت وفقاً لاحتياج هذه النباتات (الجدول 4).

جدول (4) محتوى الكبريت في بذور محاصيل مختلفة

محاصيل الحبوب	محتوى الكبريت في المادة الجافة (%)
الشعير	0.18
الشوفان	0.18
الحنطة	0.17
الذرة الصفراء	0.17
البقوليات	
الباقلاء	0.24
الزاليا	0.27
فول الصويا	0.32

أعراض نقص الكبريت

تتلخص أعراض نقص الكبريت بإصفرار عام للجزء الخضري للنبات وبالأخص الأوراق وبضعف الساق وقصر في استطالة النبات وتكون أعراض نقص الكبريت غالباً مشابهة لأعراض نقص النايروجين ويعزى سبب ذلك إلى دخول الكبريت في عمليات تكوين البروتين والكلوروفيل . أي إن نقص الكبريت يساعد على تكوين نبات قليل المحتوى بالبروتين وهذا له تأثير فعال في خفض القيمة الغذائية للمحاصيل العلفية التي تعاني من النقص . وعند المقارنة بين أعراض نقص الكبريت وأعراض نقص النايروجين يمكن القول بأن أعراض نقص الكبريت تظهر على الأوراق الحديثة التكوين لأنه عنصر غير متحرك داخل النبات ، أي لا يمتلك قدرة الحركة من الأوراق القديمة إلى الأوراق الحديثة . في حين تظهر أعراض نقص النايروجين على الأوراق القديمة لأنه عنصر متحرك داخل النبات .

أن أعراض نقص الكبريت سائدة في المحاصيل البقولية بالمقارنة مع محاصيل الحبوب ، كما يقل ظهور أعراض النقص في أشجار الفاكهة . وتعاني المناطق البعيدة عن المصانع وتأثير مياه البحار من نقص الكبريت وتحتاج إلى المعالجة من خلال التسميد .

الكبريت المعدني

يستخدم الكبريت المعدني كمادة مصلحة للترب الكلسية والقلوية لخفض pH هذه الترب. والكبريت المعدني عبارة عن مادة بلورية الشكل صفراء اللون قليلة الذوبان بالماء يتأكسد الكبريت المعدني بعد إضافته للتربة بواسطة احياء التربة مكونة حامض الكبريتيك الذي يعمل على خفض قيمة pH التربة وفقاً للآتي :



العوامل التي تؤثر على عملية اكسدة الكبريت

1- احياء التربة الدقيقة

تزداد عملية الأكسدة بزيادة عدد الاحياء المساهمة بهذه العملية مثل البكتريا المسؤولة عن اكسدة الكبريت التابعة الى جنس *Thiobacillus*.

2- درجة الحرارة

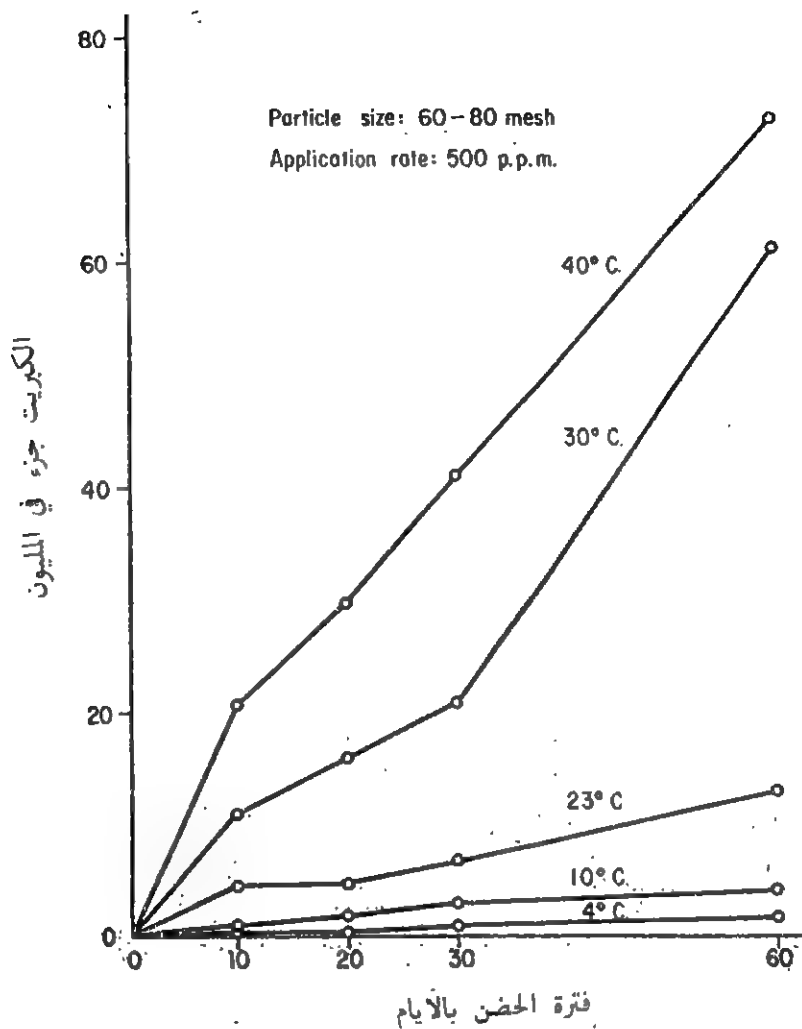
إن زيادة درجة الحرارة تساهم في زيادة عملية الاكسدة. وقد اشار (Tisdale, Nelson, 1975) الى ان زيادة درجة الحرارة حتى حدود 40°م ساهمت في زيادة عملية الاكسدة. ولكن يمكن اعتبار الحد من 27-35°م المدى المناسب لأقصى اكسدة للكبريت وان زيادة درجة الحرارة الى الحد من 55-60°م تخفض عملية الاكسدة بسبب قتل احياء التربة ويمكن ملاحظة تأثير درجة الحرارة على اكسدة الكبريت بالشكل (9).

3- المحتوى الرطوبي للتربة

ان الرطوبة المناسبة لعملية اكسدة الكبريت المعدني هي السعة الحقلية. وقد بين (Kittams, 1963) ذلك التأثير وانعكاساته على ظروف التهوية. إن زيادة الرطوبة الى حد يفوق مستوى السعة الحقلية يساهم في خلق ظروف لاهوائية تثبط من نشاط احياء التربة المسؤولة عن عملية الاكسدة (الشكل 10).

4- درجة حموضة التربة

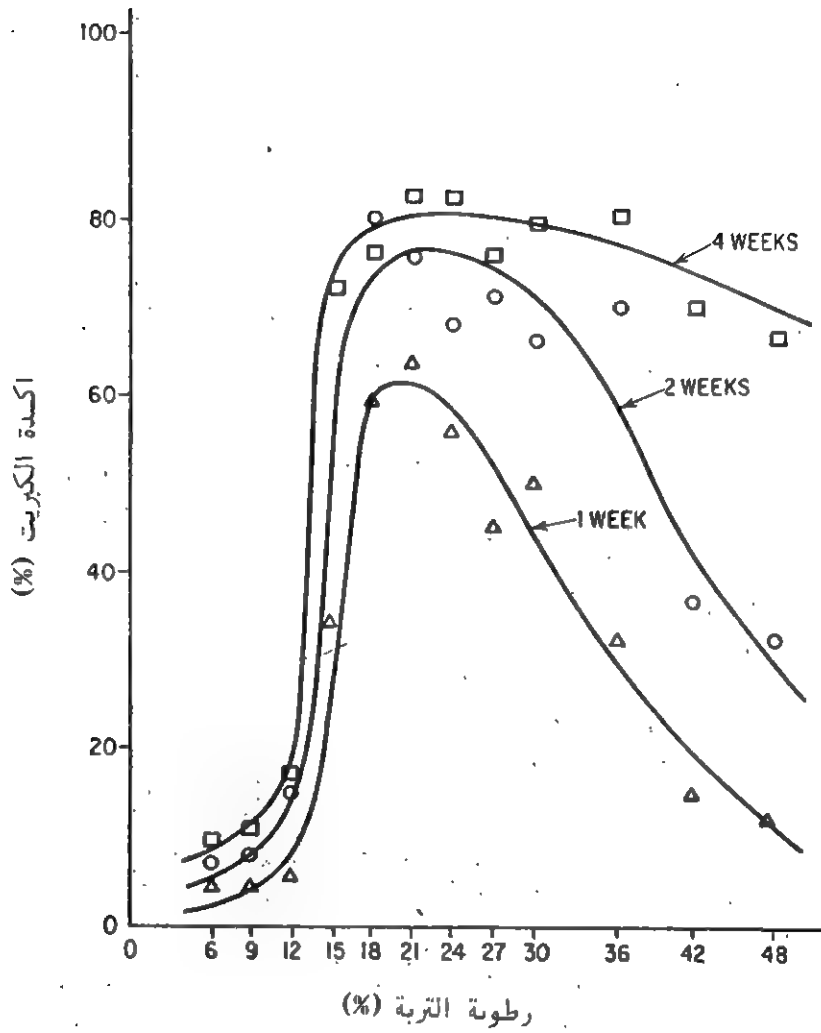
تسود الاحياء المسؤولة عن اكسدة الكبريت في الظروف الحامضية التفاعل، ولهذا فإن معدل اكسدة الكبريت يزداد في الترب الحامضية بالمقارنة مع الترب القاعدية التفاعل.



الشكل (9) تأثير درجة الحرارة على اكسدة الكبريت

5- حجم الكبريت المضاف

إن لحجم الكبريت المضاف تأثيراً فعالاً على عملية الاكسدة ، فقد بين (Attoe, 1964) ان صغر حجم حبيبة الكبريت يعني زيادة السطح النوعي وبالتالي سرعة اكسدة الكبريت (جدول 5) .



الشكل (10) تأثير مستوى التربة الرطوبي على اكسدة الكبريت خلال فترات زمنية مختلفة .

جدول (5) تأثير حجم حبيبات الكبريت المضاف بمعدل 1000 جزء بالمليون الى تربة مزيجية غرينية بعد فترة حضن عند درجة حرارة الغرفة .

فترة الحضانة		حجم الحبيبة مش / أنج
كمية الكبريت المتأكسدة (%)		
4 اسبوع	2 اسبوع	
2.27	0.85	5-10
5.16	2.08	10-20
13.67	5.27	20-40
36.07	15.44	40-80
68.39	35.99	80-120
81.34	60.52	120-170

اسمدة الكبريت

تحتوي بعض الاسمدة الكيماوية على نسبة ليست بقليلة من الكبريت مثل اسمدة كبريتات البوتاسيوم وكبريتات الامونيوم والسوبرفوسفات وغيرها كما مبين في الجدول (6) .

جدول (6) محتوى الاسمدة للشائعة من الكبريت والعناصر الغذائية الاخرى (Bixby et al. 1964) .

المحتوى (%)				اسم السماد
S	K ₂ O	P ₂ O ₅	N	
24.2	0	0	21	كبريتات الامونيوم
17.6	50	0	0	كبريتات البوتاسيوم
13.9	0	20	0	السوبرفوسفات العادي
17.8	0	0	0	كبريتات الزنك
10	0	0	40	اليوريا - كبريت
12.1	0	0	26	كبريتات الامونيوم والنترات

وقد يستخدم الجبس كمصدر سمادي مجهز للكبريت ، اذ اشار (McLachlan & De Marco, 1968) الى كفاءة الجبس في تزويد النبات بالكبريت وبالاخص عند اضافته بهيئة حبيبات صغيرة الحجم . وبشكل عام فإن الكمية المضافة من الكبريت تقع بمحدود 10-50 كغم كبريت لكل هكتار . وقد يفضل اضافتها الى المناطق التي تعاني من نقص الكبريت وبالاخص المناطق ذات الامطار العالية بسبب غسل الكبريت وفقده وكذلك المناطق البعيدة التأثير عن مياه البحار وفي المناطق غير الصناعية .

2- الكالسيوم Calcium

يعد عنصر الكالسيوم من العناصر الغذائية الهامة لتغذية النبات لمساهمة في العديد من العمليات الفسيولوجية وهو يوجد في التربة بعدة صور يمكن من خلال دراسة السلوك الكيميائي له سنتعرف على دوره المساهم في تغذية النبات وانعكاس ذلك على الانتاج . كما سنتطرق الى دراسة بعض العوامل المؤثرة على جاهزية الكالسيوم للنبات .

الكالسيوم في التربة

يشكل عنصر الكالسيوم حوالي 3.64% من تركيب القشرة الارضية ولهذا فانه يتفوق بانتشار في التربة عن بقية العناصر المعدنية المكونة للقشرة الارضية اذا استثنينا الاوكسجين والسيليكون والالمنيوم والحديد . ويعتبر عنصر الكالسيوم في الترتيب الخامس من حيث مساهمته في تركيب القشرة الارضية . يدخل الكالسيوم في تركيب العديد من المعادن الاولية مثل الفلسبارات feldspars ومركبات الفوسفات مثل الابتايت وصور كاربونات الكالسيوم المختلفة مثل الكلسايت $(CaCO_3)$ والدولومايت $(CaCO_3.MgCO_3)$. وتعتبر الترب الكلسية غنية بمحتواها من الكالسيوم وقد يصل محتواها الى ما بين 10-20% . وكذلك فإن محتوى اراضي المناطق الجافة وشبه الجافة من الكالسيوم عال جداً . في حين تمتاز اراضي المناطق الرطبة وكذلك الاراضي القديمة Old Soil التي تعرضت لتجوية عالية بانخفاض محتواها من الكالسيوم الكلي .

لقد اشار (Barber et al., 1962) الى أن محتوى اراضي المناطق الرطبة يتراوح بين 8 الى 45 جزء في المليون . في حين اوضح (Woodruff, 1955) أن اراضي المناطق الاستوائية الرطبة تكون فقيرة جداً في الكالسيوم (0.1-0.2%) رغم أن مادة الأصل قد تكون كلسية . وقد عزا سبب ذلك الى تعرض الكالسيوم

المتحرر من المعادن الأولية الى غُسل سريع يفقده مواقعه على سطح غرويات التربة ليأقي الهايدروجين ويتمركز فيها مما يكسب التربة حموضة عالية .

أما في الترب الكلسية أو التي نشأت من مادة الأصل حجر الكلس limestone وكذلك الترب الملحية وجميع اراضي المناطق الجافة وشبه الجافة فإن كمية الكالسيوم الكلية عالية جداً وذلك بسبب وفرة المركبات المعدنية المترسبة الحاوية على الكالسيوم مثل الكالسايت والدولومايت والجبس والابتايت وغيرها ومعادن اولية وثنائية تحوي على الكالسيوم كما ان معدل انطلاق الكالسيوم من هذه المكونات المختلفة قليل جداً بسبب ارتفاع pH هذه الترب .

صور الكالسيوم في التربة

يوجد الكالسيوم في صور عديدة تحدد سلوكه الكيميائي وتؤثر على جاهزيته للنبات وانتشاره في آفاق التربة وهي :

1- الكالسيوم في الجزء المعدني (غير المتبادل)

لقد اوضحنا أن عنصر الكالسيوم يدخل في تركيب عدد من المعادن الأولية وكذلك بعض المعادن الثانوية مثل المايكا والبيروكسين والمونتموريلونايت والأليايت . كما يوجد بهيئة مركبات معدنية مترسبة مثل الكالسايت والدولومات والجبس والابتايت وغيرها .

إن ذوبان المركبات المعدنية المختلفة وتحرر الكالسيوم له أهمية كبيرة من الناحية الزراعية والبيدولوجية لارتباطه بحموضة التربة وقلويتها . فالكالسايت مثلاً ، مركب قليل الذوبان (10-15 ملغرام كالسيوم / لتر) ولكن عند وجود ثاني اوكسيد الكربون وذوبانه بالماء وتكوين حامض الكربونيك وتفاعله مع كربونات الكالسيوم (الكالسايت) يكون المركب بيكاربونات الكالسيوم السهلة الذوبان :



وهذا يتحرر أيون الكالسيوم بعد تحلل المركب $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. إن فرصة تكوين حامض الكربونيك بالتربة عالية جداً بسبب وجود عدة عمليات حيوية في التربة مثل تنفس احياء التربة وجذور النباتات التي تساهم في انتاج غاز ثاني اوكسيد الكربون وإن إضافة الماء للتربة عن طريق الامطار أو الري الاعتيادي يساعد على اكمال متطلبات التفاعل . كما أن تحلل المكونات العضوية قد يساعد على انتاج المزيد من غاز ثاني اوكسيد الكربون في التربة .

إن جميع العمليات التي تجري في التربة وتزويدها بأيونات الهيدروجين تساعد أيضاً على تحلل مركبات الكالسيوم المختلفة مما يعمل على تحرره . فعملية النترجة مثلاً أو أكسدة الكبريت المعدني أو إضافة الأسمدة الحامضية التفاعل قد تساعد الى حد ما على ذوبان مركبات الكالسيوم المختلفة كما لاحظ بعض الباحثين أن زيادة تركيز الاملاح يزيد من ذوبان كاربونات الكالسيوم .

2- الكالسيوم المتبادل

تدمص أيونات الكالسيوم على سطح غرويات التربة وقد تشكل الكمية المدمصة حوالي (50-90%) من كمية الايونات الموجبة الاخرى المدمصة . ولنوع المعدن السائد في التربة تأثير محدد على الكمية المتبادلة من الكالسيوم فقد أشار (Bröyer & Stout, 1959) الى أن كمية الكالسيوم المتبادلة تكون قليلة ولا تتجاوز 20% عندما يكون المعدن السائد الكاؤولينيّات في حين تصل الكمية الى 80% عندما تكون معادن 2:1 هي السائدة . ويرتبط الكالسيوم المدمص بمواقع التبادل بقوة اليكتروستاتيكية تمنعه من الانتشار خارج نطاق التوازن الأيوني مع الذائب في محلول التربة . وللكالسيوم المتبادل أهمية خاصة في تحسين خواص التربة الفيزيائية من خلال تحسين تركيب التربة Soil structure وتكوين حبيبات مركبة ثابتة . ولا يمكن النظر الى جميع الكالسيوم المتبادل بأنه يمثل الصورة الجاهزة للنبات بل إن قوة ارتباطه مع السطح تحدد ذلك .

3- الكالسيوم الذائب

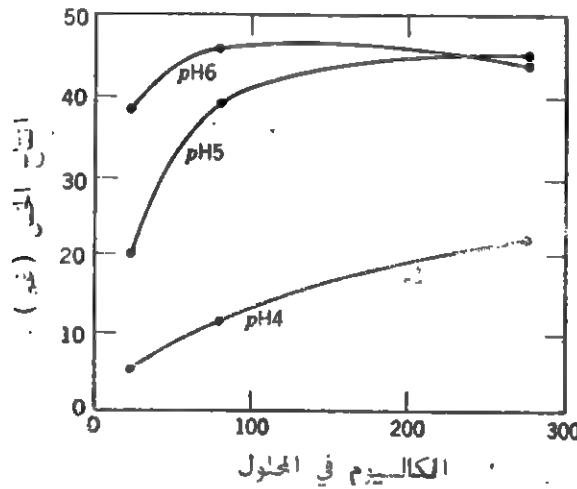
تحتوي معظم الترب المعدنية على مستوى عالٍ من الكالسيوم الذائب في محلول التربة بهيئة أيونية تكفي لسد الاحتياجات المطلوبة من قبل النبات . وقد تعاني الترب العضوية الحامضية من قلة محتوى الكالسيوم الذائب وكذلك الجاهز للنبات بشكل عام مما يستلزم معالجة الامر باضافة الاسمدة الخاصة .

العوامل التي تؤثر على جاهزية الكالسيوم
لا بد من مناقشة بعض العوامل التي تؤثر على جاهزية الكالسيوم للنبات وهي :-

1- درجة حموضة التربة (Soil-pH)

تنخفض جاهزية الكالسيوم بارتفاع pH التربة اي ان الكالسيوم يترسب بهيئة مركبات معدنية قليلة الذوبان في الظروف القلوية وعلى الرغم من ذلك فان معظم هذه الترب تحتوي على كمية كافية من الكالسيوم الصالح لتغذية النبات .

اما الترب الحامضية الفقيرة بمحتواها من الكالسيوم الجاهز فان اضافة معادن الكلس مثل CaO ، CaCO_3 أو Ca(OH)_2 تعمل على تجهيز هذه الترب بالكالسيوم وتعمل على رفع pH هذه الترب وبذلك تحسن خواص التربة الفيزيائية والكيميائية . لذا فقد تعتبر هذه المعادن من المصطلحات الشائع استعمالها في الترب الحامضية . ومن خلال نتائج الدراسة التي قام بها (Johnson, 1942) و (Arnon) على محصول الخس النامي في محلول مغذي (الشكل 1) ، نجد ان احتياج النبات من الكالسيوم لكي يعطي أقصى انتاج يقل مع ارتفاع قيمة الـ pH من 4 الى 5 أو 6 . مما يدل على ان للكالسيوم دوراً هاماً في الحد من تأثير الحموضة . لذا فان الحموضة العالية تستهلك كمية اكبر دون ترك كمية كافية لسد احتياجات النبات .



الشكل (1) انتاج الخس النامي في محلول مغذي يحتوي على مستويات من تراكيز الكالسيوم عند ظروف pH مختلف .

ان الحموضة العالية تساعد على ذوبان مركبات الكالسيوم المعدنية المختلفة في حين تعمل القلوية العالية على ترسيب هذه المركبات . وبسبب اختلاف ذوبان مركبات الكالسيوم فان لقيمة pH التربة دوراً هاماً في تحديد المركب المناسب لغرض استعماله كمحسن لظروف الحموضة بالتربة . فنظراً لارتفاع اذابة المركب CaO والمركب Ca(OH)_2 فإن استعمالهما كمحسنات سريعة المعالجة أفضل من استخدام المركب CaCO_3 البطيء الذوبان الا في حالة الحموضة العالية جداً .

2- تأثير المادة العضوية

تدمص ايونات الكالسيوم بواسطة الغرويات العضوية وبالاخص حوامض الدباليك مكوناً معقدات عضوية للكالسيوم غير ذائبة . وللمادة العضوية دور مساعد

في تحليل مركبات الكالسيوم المعدنية من خلال انتاج غاز ثاني اوكسيد الكربون والحوامض العضوية المختلفة التي قد تساهم لحد ما في خفض pH التربة او اذابة المركبات بصورة مباشرة .

فقد اشار (Schachtschabel, 1940) الى ان قدرة حامض الدباليك على جذب الكالسيوم اكبر من قدرة معادن الطين المختلفة (جدول 1) . وتمتاز الكمية المنجذبة ببطيء تحررها لتكون جاهزة للنبات .

جدول (1) قدرة حامض الدباليك ومعادن الطين المختلفة على جذب الكالسيوم بعد غسل الجميع بمحلول 0.05N CaOAc .

النسبة المئوية لمواقع الانجذاب لايون الكالسيوم	
93	حامض الدباليك
63	معادن المونتوريلونائيت
54	معادن الكاؤولينات
6	معادن المسكوفائيت

3- تأثير كمية وتنوعية معادن الطين

من خلال الجدول السابق يتضح لنا جانب من تأثير نوعية معادن الطين على كمية الكالسيوم المتبادل . ومن خلاله يمكن القول ان معادن المونتوريلونائيت تحتاج الى كمية اكبر من الكالسيوم لتشبع مواقع التبادل بالمقارنة مع معادن 1 : 1 . وقد بين (Tisdale & Nelson, 1975) ان قدرة معادن المونتوريلونائيت على اطلاق كمية من الكالسيوم لسد احتياجات النبات يستلزم تشبع هذا المعدن بالكالسيوم لحد 70% او اكثر في حين يكفي تشبع معادن الكاؤولينات لحد (40-50%) ليجوز النبات بالكمية المطلوبة .

4- تأثير نوع الكاتيون المرافق

ان لنوع الكاتيون المرافق بجانب الكالسيوم المتبادل له دور كبير في تحديد جاهزية الكالسيوم للنبات . فقد لاحظ (Jarusov, 1937) وكذلك (Ratner, 1950) ان ايونات الهيدروجين تؤثر على جاهزية الكالسيوم بدرجة اقل من المغنيسيوم وكذلك الصوديوم (جدود 2) . ويمكن القول بان وجود 40% من

الصوديوم المتبادل منعت نهائياً تقريباً ايونات الكالسيوم من الامتصاص من قبل النبات بالرغم ان كميته كانت تشكل 60% من السعة التبادلية الكايتونية للتربة . اما وجود 40% من ايونات الهايدروجين بشكل متبادل فقد شجعت انطلاق الكالسيوم ليمتص من قبل بادرات الخنطة . ومن هذا يظهر انه يمكن ان نتوقع نقص الكالسيوم في الترب الصودية بدرجة كبيرة بالمقارنة مع الترب الحامضية .

جدول (2) انتاج ومحتوى بادرات الخنطة من الكالسيوم بعد نموها في تربة مشبعة بمستوى ثابت من الكالسيوم وايونات مرافقة مختلفة
(Ratner, 1950)

الايونات المتبادلة	وزن البادرات المجففة هوائياً غرام / سندان	الكمية الممتصة من Ca بواسطة البادرات (ملغم / سندان)
100% كالسيوم	1.8	9.7
60% كالسيوم + 40% هايدروجين	1.7	8.6
60% كالسيوم + 40% مغنيسيوم	1.7	8.1
60% كالسيوم + 40% صوديوم	1.6	5.2
المعاملة القياسية (رمل فقط)	1.7	5.2

الكالسيوم ونمو النبات

يتمص النبات عنصر الكالسيوم بهيئة أيونية (Ca^{2+}) . ويكون محتوى مختلف الترب من الكالسيوم اعلى من محتوى البوتاسيوم غالباً الا ان الاحتياج العام لمختلف النباتات من الكالسيوم اقل . ويعتبر عنصر الكالسيوم ضرورياً في تكوين الازهار والخلايا المرستمية ويؤثر على حركة انتقال الكربوهيدرات في النبات وهو يشجع نمو المجموع الجذري في النبات . وقد اشار (Burstrom, 1968) الى اهمية الكالسيوم في استطالة الخلية والانقسام الخلوي كما يعتبر عنصراً أساسياً في تكوين الجدار الخلوي ونفاذيته وقد يتجمع الكالسيوم في الحد بين الساييتوبلازم والجدار الخلوي . وقد اضاف كل من (Rensing & Cornelius, 1980) الى ان للكالسيوم دوراً منشطاً لبعض الانزيمات التي لها دور مساهم في مختلف العمليات الحيوية في النبات .

يوجد الكالسيوم في أنسجة النبات كأيون حر (Ca^{2+}) وكمعقد عضوي. يرتبط مع مكونات عضوية من خلال المجموع الكربوكسيلية والفينولية وكذلك يوجد بهيئة أوكسالات الكالسيوم أو كربونات أو فوسفات الكالسيوم وغالباً ما توجد هذه المكونات في الفجوة الخلوية . وقد يوجد الكالسيوم في البذور مرتبطاً مع حامض الفايك **Phytic acid** وفي الجدار الخلوي يرتبط الكالسيوم مع البكتين من خلال المجموع الكربوكسيلة وهذا يتجمع الكالسيوم في الجدار الخلوي .

تحتاج معظم النباتات الى كمية بسيطة من الكالسيوم قد تصل الى حد (5-30) ملغرام كالسيوم لكل غرام مادة جافة . وان وجود كمية كافية من الكالسيوم الجاهز للنبات يساعد في زيادة الانتاج لختلف المحاصيل الزراعية . فنتائج (Loneragan et al. 1968) تبين تأثير تركيز الكالسيوم في المحلول المغذي على نمو بعض المحاصيل الزراعية ومحتوى انسجتها من الكالسيوم فقد لاحظوا ان اقصى معدل نمو الحشائش يحتاج الى كمية اقل من الكالسيوم بالمقارنة مع احتياج محصول الطماط (جدول 3) . وكذلك فان محتوى أنسجة الحشائش من الكالسيوم قد تصل الى (0.7%) عند اقصى انتاج في حين محتوى أنسجة محصول الطماط يصل الى (1.29%) عند اقصى انتاج . ومن هذا يمكن القول ان احتياج الطماط للكالسيوم اعلى من احتياج الحشائش .

جدول (3) تأثير تركيز الكالسيوم في المحلول المغذي على معدل نمو بعض المحاصيل وكذلك محتوى انسجتها من الكالسيوم .

معدل النمو النسبي				تركيز الكالسيوم مايكرومول / لتر
محتوى المادة الجافة من الكالسيوم (%)				
الحشائش	الطماط	الحشائش	الطماط	
0.6	3	42	2.1	0.8
0.7	19	100	1.3	2.5
1.5	52	94	3.0	10
3.7	100	94	12.9	100
10.8	80	93	24.0	1000

وقد بين (Geraldson, 1970) ان وجود مستوى 15% كالسيوم متبادل بالتربة يكفي لنمو وانتاج جيد لمحصول الطماط . وفي دراسات مختلفة حول الكالسيوم لبيان الحد الحرج في مختلف المحاصيل الزراعية فقد وجد (Melsted, 1953) ان المحتوى 0.2% في انسجة الذرة الصفراء تمثل الحد الحرج في حين وجد (Geraldson, 1957) ان الحد الحرج لمحصول الطماط يقع في المحتوى 0.5% .

اعراض نقص الكالسيوم واسلوب معالجته

يعتبر عنصر الكالسيوم غير متحرك لذا فإن اعراض نقصه تظهر على الاوراق الحديثة التكوين وهي عبارة عن اصفرار أو تلون الأوراق باللون البني المبقع مع التفاف الاوراق وانخفاض سمكها . ومن أعراض نقص الكالسيوم على اشجار الفاكهة تأخير أو توقف نمو الجذور والبراعم أما اعراضه في الحمضيات فهي اصفرار الاوراق وتساقطها قبل موعدها وتشويه شكل الأغصان .

من النادر جدا أن يظهر نقص الكالسيوم في الترب العراقية لوجود المحتوى العالي من كاربونات الكالسيوم وكذلك في الاراضي الملحية وارااضي المناطق الجافة وشبه الجافة . أما في أراضي المناطق الاستوائية الرطبة فيسود نقص الكالسيوم لذا فهو يعالج بإضافة مركبات الكالسيوم المختلفة (جدول 4) . وان نقص الكالسيوم قد يكون شائعاً في الاراضي الحامضية كما سبق الإشارة الى ذلك .

جدول (4) مركبات الكلس المعدنية

الصيغة	محتوى CaO %
حجر الكلس $CaCO_3$	50
اللايم $Ca(OH)_2$	70
الإلايم CaO	85

وقد سبق أن اوضحنا تفضيل المركب $Ca(OH)_2$ والمركب CaO على المركب $CaCO_3$ بسبب الاذابة العالية للمركبين وتجهيزهم السريع للكالسيوم وتحسين حموضة التربة مما ينعكس ذلك على مستوى خصوبة التربة . ونظراً لإختلاف معدل اذابة هذه المركبات فإن الكمية المضافة من المركبات العالية الذوبان أقل من معدل ما يضاف من المركبات البطيئة الذوبان . فقد أوضح (Mengel &)

(Kirkby, 1982) إن مستوى الأضافة يكون غالباً محدود من (3-4) طن من المركب CaO أو (4-6) طن من المركب CaCO_3 لكل هكتار لدورة تستمر من (3-5) سنوات. ولا بد من القول إن معدل اذابة هذه المركبات يحددها pH الوسط كما إن الكمية المطلوب إضافتها تتحدد أيضاً وفقاً للحموضة الفعلية السائدة. إن لإضافة مركبات الكلس المعدنية فائدة كبيرة في تحسين المستوى الخصوي للتربة الحامضية عند إضافة الكمية المناسبة التي لا تؤدي الى رفع pH التربة الى حد اعلى من (7). ويمكن الرجوع الى ماورد في الفصل الاول عن العلاقة بين pH التربة والمستوى الخصوي من خلال جاهزية العناصر الغذائية المختلفة. إذن لابد من تحديد الكمية المناسبة التي تساهم في تعديل pH التربة وكذلك تجهيز التربة بكمية مناسبة من الكالسيوم الجاهز.

3- المغنيسيوم Magnesium

يعتبر المغنيسيوم من العناصر الغذائية الكبرى والضرورية لنمو النبات. فيعتبر عنصر المغنيسيوم احد مكونات كلوروفيل النبات، لذا فإن جميع النباتات تحتاج الى هذا العنصر لاهميته لنموها. وغالباً ما تحتاج المحاصيل الى كميات أقل من المغنيسيوم بالمقارنة مع احتياجها من الكالسيوم والبوتاسيوم.

المغنيسيوم في التربة

ان محتوى قشرة الارض من المغنيسيوم يقدر بحوالي 1.93% حسب مااورده (Tisdale & Nelson, 1966). وتحتوي الترب الطينية على نسبة عالية من هذا العنصر وذلك لوجوده في تركيب المعادن الاولى مثل البايوتايت Biotite و السيرپنتين Serpentine و الألفين Olivine وكذلك يوجد في المعادن الثانوية مثل الكلورايت Chlorite والفيرمايكولايت Vermiculite و الأليلايت Illite والمونتموريلونايت Montmorillonite ومعادن أخرى (Walsh & Beaton, 1973). ويختلف محتوى هذه المعادن من المغنيسيوم (جدول 1). وغالباً ما يكون محتوى معادن التربة الثانوية عالياً جداً وبالاخص الفيرمايكولايت والكلورايت. يوجد المغنيسيوم بهيئة مغنيسايت (MgCO_3) ودولومايت (MgCO_3) (dolomite CaCO_3). وفي اراضي المناطق الجافة وشبه الجافة يوجد المغنيسيوم كبريتات المغنيسيوم.

جدول (1) محتوى بعض معادن الطين من المغنيسيوم (Salmon, 1963)

اسم المعدن	المحتوى (MgO %)
الأليلايت	1
الفيرمايكولايت	15-12
الكلورايت	23

إن محتوى الترب من المغنيسيوم يعتمد بالأساس على نوعية التربة ، فقد بين (Menyel & Kirkby, 1982) بأن محتوى معظم الترب في المغنيسيوم يتراوح بين 0.05% للترب الرملية و 0.5% للترب الطينية . ولوضح (Tisdale & Nelson, 1975) بأن محتوى ترب المناطق الرطبة الخشنة النسجة من المغنيسيوم قليل ومحتواها من المغنيسيوم الكلي 1% بينما محتوى الترب ذات النسجة الناعمة في هذه المناطق أكثر من 1% وبشكل عام يمكن القول بأن ترب المناطق الجافة ذات النسجة الناعمة تكون ذات محتوى عالٍ من المغنيسيوم وفي بعض ترب المناطق شبه الجافة أيضاً يوجد بكميات كبيرة من المغنيسيوم مما يشكل سمية للنبات . وتلعب طبيعة مادة الأصل وعمليات التجوية دوراً هاماً في تحديد مكونات التربة من هذا العنصر . فقد وجد (Lombin & Fayemi, 1976) بأن الترب المشتقة من الصخور الرسوبية (Sedimentary Limestone) تكون فقيرة في محتواها من المغنيسيوم الكلي ولاحظنا أيضاً بأن المغنيسيوم الذائب والمتبادل في الترب يزداد بزيادة نسبة الطين أو (الطين + الغرين) . أما (Alston, 1972) فقد أشار الى أن محتوى الترب البركانية من المغنيسيوم اعلى من ترب Gley و Brown earth و Peaty Gley .

صور المغنيسيوم بالتربة

يوجد المغنيسيوم بشكل ذائب ومتبادل وغير متبادل والجزء الاكبر منه يوجد بشكل غير متبادل في المعادن الاولية ومعادن الطين الثانوية ، ويوجد في معادن الطين الثانوية بدرجة تفوق ما هو موجود في المعادن الاولية وتكون هذه الصورة غير جاهزة للامتصاص من قبل النبات مباشرة كما اشار الى ذلك (Hannawy et al. 1960) . المغنيسيوم المتبادل اعتيادياً يشكل مايقارب 5% من المغنيسيوم الكلي الموجود في التربة ويكون كل من المغنيسيوم المتبادل والذائب أكثر جاهزية للنبات (Mengle & Krikby, 1982) . ويتحرر المغنيسيوم غير المتبادل الى

الصور الأخرى بواسطة عملية التجويه وأشار (Hossner, 1965) الى أن معدل التحرر للصور غير المتبادلة في الظروف الاعتيادية سريع .

فقد بين (Bolton, 1972) إن المغنيسيوم المتبادل في التربة يزداد عند اضافة المادة العضوية الى التربة وإن هذه الصورة جاهزة للامتصاص من قبل النبات . ولاحظ (Uzomokwunye & Melsted, 1973) بأن قابلية الترب المحتوية على كميات عالية من الماء العضوية المتحللة جزئياً وغير المتحللة ، على تثبيت المغنيسيوم أقل من قابلية الترب الفقيرة بالمادة العضوية . ولهذا يمكن القول بأن للمادة العضوية دوراً كبيراً في تحديد محتوى الترب من المغنيسيوم ومدى جاهزيته للنبات . فزيادة تجمع المادة العضوية على سطح التربة يزيد من حفظ التربة للمغنيسيوم في الطبقة السطحية مما يزيد من كمية المغنيسيوم الجاهز للنبات ويكون محتواها من المغنيسيوم الكلي عالياً (Lombin & Fayemi, 1976) .

يلعب pH التربة دوراً كبيراً في مقدار ما تحتويه الترب من المغنيسيوم ومدى جاهزيته للنبات . وقد اشار (Embleton, 1975) الى أن الترب الحامضية والرملية في المناطق التي تكون فيها كمية الامطار متوسطة الى عالية تعاني من نقص المغنيسيوم وفي مثل هذه المناطق يكون نقص المغنيسيوم أقل من السنوات التي تكون فيها كمية الأمطار قليلة . ولاحظ (Lombin & Fayemi, 1976) أنه عند الـ pH المنخفض للتربة تحل ايونات الهايدروجين وايونات الالمنيوم محل ايونات المغنيسيوم الموجودة على غرويات التربة ولهذا يصبح المغنيسيوم اكثر جاهزية للنبات عما هو عند الـ pH العالي وهذا السبب يدعم النتيجة التي توصل اليها (Chan et al. 1979) إذ وجدوا انه بزيادة pH التربة تزداد كمية المغنيسيوم المثبتة وقد أدت زيادة pH التربة من 4.0 الى 9.0 الى زيادة المغنيسيوم المتبادل بمقدار 62% . ولهذا فإن الترب الحامضية تعتبر فقيرة بمحتواها الجاهز والكلي من المغنيسيوم وذلك لسرعة فقده وحركته بالمقارنة مع الترب القاعدية التفاعل .

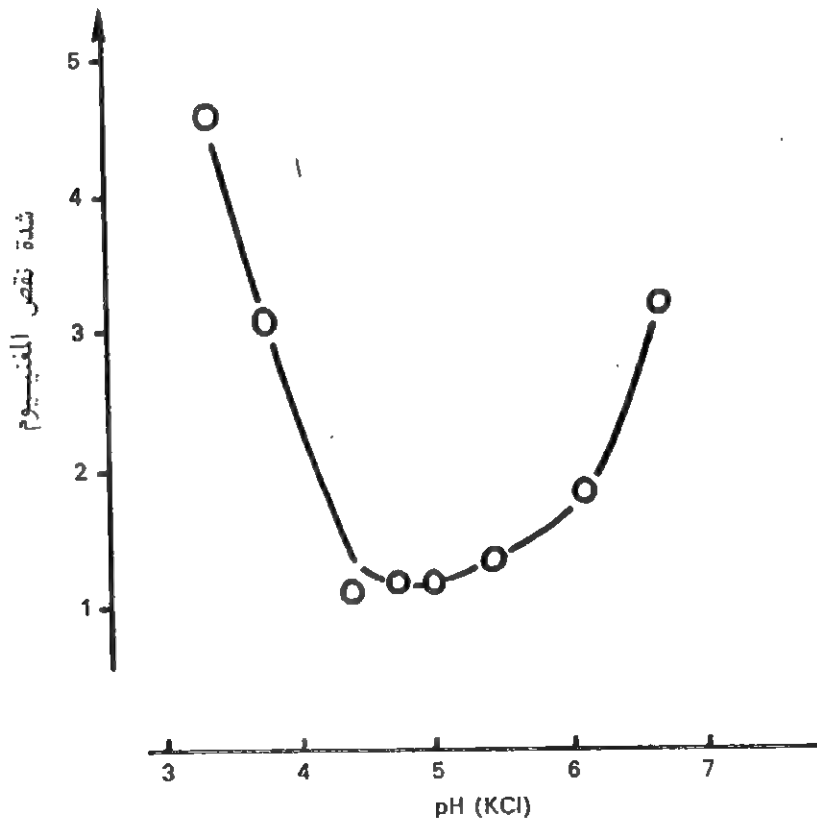
العوامل المؤثرة على جاهزية المغنيسيوم

لقد سبق أن أوضحنا تأثير pH التربة على محتوى الترب من المغنيسيوم . أما العلاقة بين pH التربة وجاهزية المغنيسيوم فقد يرى عدد من الباحثين (Doll & Hossner, 1964; Jones & Haghari, 1963) بأنها عكسية ، أي أن زيادة pH التربة يؤدي الى خفض جاهزية المغنيسيوم لزيادة معدل التثبيت . ولكن هذا الامر يرتبط بمحتوى الترب من المغنيسيوم اذ نجد أن محتوى الترب القاعدية من المغنيسيوم الجاهز والكلي عالٍ غالباً بالمقارنة مع الترب الحامضية التفاعل التي يسود

فيها اعراض نقص المغنيسيوم عند عدم معاملتها بالأسمدة . فقد لاحظ (Martin, 1969) & Page, 1969) اعراض نقص المغنيسيوم على اوراق الحمضيات النامية في الترب الحامضية .

إن العلاقة بين pH التربة وجاهزية المغنيسيوم علاقة متداخلة ومتغيرة تحكمها خصائص التربة وتركيبها المعدني بالإضافة لمحتوى التربة الكلي من العنصر . الشكل (1) الذي أخذ من (Stenuit, 1959) يوضح العلاقة بين pH التربة وشدة اعراض نقص عنصر المغنيسيوم على نبات الشوفان المزروع في تربة رملية . ويمكن الاستنتاج بأنه عند pH مساوٍ الى 5 تكون شدة اعراض نقص المغنيسيوم في ادنى حد . إن ارتفاع أو انخفاض قيم pH التربة يؤدي الى خفض جاهزية المغنيسيوم وقد يرجع سبب ذلك الى التنافس الأيوني مع الكالسيوم والهيدروجين .

ويعتبر عامل التنافس الكايتوني Cation competitive من أهم العوامل المحددة لأمتصاص المغنيسيوم من قبل النبات .



الشكل (1) تأثير pH التربة على شدة اعراض نقص المغنيسيوم .

فقد درس (Mulder, 1956) تأثير أيون الامونيوم على امتصاص وجاهزية المغنيسيوم للنبات. وعلى الرغم من أن ميكانيكية التنافس بين الاثنين غير واضحة، إلا أنه يعتقد بأن ذلك يعتمد على تحرر ايون الهايدروجين من صورة ايون الامونيوم بالاضافة الى التأثير المباشر لهذا الايون في تقليل كمية المغنيسيوم الجاهزة أو المتصة. كما لاحظ (Mulder, 1950) أن إضافة مستويات عالية من البوتاسيوم يؤدي الى ظهور اعراض نقص المغنيسيوم على اوراق التفاح. وقد اشار (Salmon, 1964) الى أن المغنيسيوم الجاهز للنبات يكون قليلاً في الترب الغنية بالبوتاسيوم ولذلك فانه اوصى بمضاعفة كمية المغنيسيوم المضافة في مثل هذه الترب لكي تسد احتياجات النباتات المطلوبة. أما (Leggett & Gilbert, 1969) فقد وجد أن كمية المغنيسيوم المتصة بواسطة فول الصويا كانت عالية جداً عندما كان المحلول المغذي. خالياً من البوتاسيوم. ووضح (Viro, 1973) تأثير زيادة مستوى البوتاسيوم المضاف على محتوى اجزاء نبات الطماطا لبعض الايونات الموجبة (الجدول - 2). ووجد بأن زيادة تجهيز البوتاسيوم يؤدي الى نقص محتوى اوراق جدول (2) تأثير زيادة مستويات البوتاسيوم المضافة على محتوى اجزاء نبات الطماطا من الايونات الموجبة.

المعاملة	ملي مول بوتاسيوم / لتر محلول مغذي	نسبة مئوية بالمادة الجافة	K	Na	Ca	Mg
الاوراق						
2	0.5	0.40	4.7	0.61		
10	3.3	0.19	4.2	0.27		
20	4.2	0.18	3.3	0.15		
الجزور						
2	0.2	0.36	3.9	0.33		
10	2.2	0.25	3.2	0.31		
20	2.4	0.13	3.3	0.26		
الثار						
2	1.6	0.10	0.09	0.07		
10	2.5	0.07	0.08	0.08		
20	2.7	0.06	0.07	0.09		

نبات الطماط وجذوره بالمغنيسيوم ولكنه يؤدي الى زيادة محتوى الثار . أما (Linser & Herwig, 1968) فقد وجدوا أنَّ زيادة تجهيز البوتاسيوم يؤدي الى زيادة محتوى بذور الكتان من المغنيسيوم . ويبدو إن للبوتاسيوم دوراً في تشجيع حركة المغنيسيوم الى أعلى النبات ليخزن في الثار أو للبذور . (لاحظ Hovland & Caldwell, 1960) بأن اضافة البوتاسيوم الى التربة يقلل من احلال المغنيسيوم في التربة وبالنسبة يقل امتصاص النبات للمغنيسيوم . وأشار (Lombin & Fayemi, 1976) الى أن زيادة البوتاسيوم في التربة يزيد من منافسته للمغنيسيوم على مواقع التبادل لجذور النبات وذلك لان احلال البوتاسيوم على مواقع التبادل لجذور النبات اسهل بكثير من المغنيسيوم اذا وجدا في محلول واحد ولهذا يقلل من معدل امتصاص المغنيسيوم وهذه النتائج تتفق مع النظريات التي وضعت من قبل (Bear, 1950, Arnon, 1939) .

المغنيسيوم ونمو النبات

يساهم عنصر المغنيسيوم في بناء جزيئة الكلورفيل ، على الرغم من ان الكمية المشتركة في هذا العنصر قد لا تزيد عن 30% من الكمية الكلية الممتصة . وللمغنيسيوم دور في العديد من العمليات الحيوية كتكوين وزيادة نشاط بعض الانزيمات مثل انزيم Atpase . وقد لاحظ (Haeder & Mengel, 1969) ان نقص المغنيسيوم يؤدي الى خفض محتوى النبات من المركبات الناييتروجينية البروتينية وزيادة محتواه من المركبات الناييتروجينية غير البروتينية ، اي ان نقص المغنيسيوم يعرقل تثمين البروتين .

ان زيادة مستوى المغنيسيوم بالتربة يؤدي الى زيادة محتواه في النبات وهذا بالطبع يؤدي الى زيادة انتاجية ذلك النبات . فقد وجد (Blue & Charles, 1956) ان اضافة المغنيسيوم على صورة كبريتات المغنيسيوم $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ادى الى ازالة اعراض نقص المغنيسيوم الظاهرة على نباتات الشوفان والبرسيم اما (Jones & Jones, 1978) فقد وجد ان زيادة مستويات المغنيسيوم المضافة الى التربة الرملية المزيجية (Loamy sand) على هيئة كبريتات المغنيسيوم $(MgSO_4 \cdot 7H_2O)$ ودولومايت $CaMg(CO_3)_2$ ادت الى زيادة محتوى نبات الطماط من المغنيسيوم وكذلك زيادة انتاجية النبات الا انها لاحظا بان محتوى النبات من المغنيسيوم وبالعالي الانتاجية في حالة اضافة كبريتات المغنيسيوم اعلى مما هو عليه في حالة اضافة الدولومايت . وقد عزا سبب ذلك التأثير الى كون سماد كبريتات المغنيسيوم اكثر قدرة على تجهيز التربة بالمغنيسيوم بالمقارنة مع الدولومايت . واكدت الدراسة التي قام بها (اسماعيل ، 1975) ان زيادة الكميات المضافة من المغنيسيوم

الى التربة أدت الى زيادة تركيز المغنيسيوم في بعض المحاصيل العلفية وكذلك الانتاج .

اعراض نقص المغنيسيوم

ان عنصر المغنيسيوم متحرك داخل النبات ، اي ان اعراض نقصه تظهر على الاوراق القديمة وذلك لحركته منها الى الاوراق الحديثة عند الطلب . وتتميز اعراض نقص المغنيسيوم باصفرار أوراق النبات ويبدأ ظهور النقص في راس الاوراق وحوافها وبين العروق . وتظهر اعراض نقصه في الفاكهة باصفرار الاوراق السفلى اذ يبدأ في راس الورقة وحوافها وبين العروق ثم تمتد الانسجة بين العروق ويتبع هذا تساقط الاوراق قبل موعدها وخاصة في التفاح اما في الحمضيات فان أوراقها تتلون باللون البرونزي ومن ثم تحترق . وفي العنب تصفر الاوراق كما أن نقصه يؤثر على الانتاج العام .

اسمدة المغنيسيوم

تختلف اسمدة المغنيسيوم الكيماوية المعدنية بمحتواها من المغنيسيوم (جدول 3) وبخصائصها الكيماوية والفيزيائية . ويجهز عنصر المغنيسيوم بهيئة كاربونات او اوكسيدات أو كبريتات غالباً ، وان اسمدة كبريتات المغنيسيوم المختلفة اكثر كفاءة من اسمدة كاربونات المغنيسيوم على الرغم من كون النوع الاول غالي الثمن لزيادة تكاليف صناعته (Jung & Dressel, 1969) . ولو حاولنا مقارنة الانواع المختلفة من اسمدة كبريتات المغنيسيوم مع بعضها فان سماد $(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ اكثر الاسمدة ذوباناً وكفاءة بالمقارنة مع سماد $(\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ على الرغم من كون

جدول (3) اسمدة المغنيسيوم الكيماوية المعدنية

%MgO	سم السماد
5-20	كاربونات المغنيسيوم (مغنيسيوم الحجر الكلسي)
10-33	اوكسيد المغنيسيوم
27	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
16	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
11	كبريتات المغنيسيوم والبوتاسيوم المغنيسايت (MgCO_3)

النوع الاول اعلى ثمناً. أما اسمدة كاربونات المغنيسيوم فان اختيارها للترب الحامضية يعطي لها افضلية لقدرتها على رفع pH هذه الترب بالاضافة لتجهيزها لعنصر المغنيسيوم وقد تفضل اسمدة كبريتات المغنيسيوم في الترب المتعادلة والتي تعاني من النقص الشديد من عنصر المغنيسيوم.

قد يضاف المغنيسيوم بهيئة اسمدة اخرى مثل سماد فوسفات الامونيوم والمغنيسيوم العالي النوبان والذي يستخدم لمعالجة نقص عنصر المغنيسيوم في محاصيل مختلفة. كما يضاف المغنيسيوم مع بعض الاسمدة المركبة مثل NPK أو NK. وبشكل عام فان المعدل المطلوب اضافته الى الترب الرملية يقع بمحدود 80-160 كغم / MgO / هكتار.

قائمة المصادر

- 1- Alston, A.M. (1972) J. Agric. Sci. 79: 197-204.
- 2- Arnon, D.L. (1939) Soil Sci 48: 295-307.
- 3- Arnon, D.I. and Johnson, C.M. (1942) Plant Physiol. 17: 525-539.
- 4- Attoe, O.J. (1964) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 145.
- 5- Barber, D.A., Ebert, M. and Evans, T.S. (1962) J. Exp. Bot. 13: 397-403.
- 6- Bardsley, C.D. and Kilmer, V.J (1963) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 197-199.
- 7- Barrow, N.J. (1961) Aust. J. Agr. Res. 12: 306-319.
- 8- Bear, F.E. (1950) Agron. J. 42: 176-178.
- 9- Black, C.A. (1968) Soil-Plant Relationships 2nd ed. New York.
- 10- Blue, W.G. & Charles, F.E. (1956) Soil Sci. 82: 51-61.
- 11- Bolton, J. (1972) J. Agric. Sci. 79: 217-223.
- 12- Broyer, T.C. and Stout, P.R. (1959) Plant Physiol 10: 271-300.
- 13- Burstrom, H.G. (1968) Biol. Rev. 43: 287-316.
- 14- Chan, K.Y., Davey, B.G. and Geering H.R. (1979) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 102-109.
- 15- Chao, T.T., Harward, M.E. & Fang, S.C. (1962) Soil Sci. 94: 276-283.
- 16- Davies, B.E. (1980) Applied Soil trace elements, Wiley, New York.
- 17- Deloch, H.W. (1960) Diss. Landw. Fakultat Giessen A.L.
- 18- Dijkshoorn, W. & van Wijk, A.L. (1967) Plant & Soil 26: 129-157.
- 19- Embleton, T.W. (1975) n Diagnostic Criteria for Plants & Soils PP. 225-263.
- 20- Ergle, D.R. and Eaton, F.M. (1951) Plant Physiol. 26: 639-654.

- 21- Faller, N. (1970) Sulphur Inst. J. 6: 5-7.
- 22- Freney, J.R. (1961) Aust. J. Agric. Res. 12: 424-432.
- 23- Geraldson, C.M. (1957) Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21: 621-625.
- 24- Geraldson, C.M. (1970) Soil Sci. Blant Anal. 4: 187-196.
- 25- Haeder, H.E. and Mengel, K. (1969) Landw. Forsch. 23/1 Sonderh.
- 26- Hannaway, D.B., Bush, J. and Leggett, E. (1980) Agr. Cal. exp. Stat. Lexig. 40546.
- 27- Hovland, D. and Caldwell, A.C. (1960) Soil Sci. 89: 92-96.
- 28- Janzen, H.H. and Bettany, J.R. (1984) Soil Sci. Soc. Am. J. 48: 100-107.
- 29- Jarusov, S.S. (1937) Soil Sci. 43: 285-303.
- 30- Jones, J.B. Hagher, F. (1963) Ohio Agr. Exp. Sta. Circ. 116.
- 31- Jones, U.S. and Jones, T.L. (1978) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 42: 918-922.
- 32- Jüng, J. and Dressel, J. (1969) Pflanzenbau 130: 122-135.
- 33- Leggett, J.E. and Gilbert, W.A. (1969) Plant Physiol. 44: 1182-1186.
- 34- Linser, H. and Herwig, K. (1968) Kalibriefe, Fachgeb 2, 2. Folge.
- 35- Lombin, G. and Fayemi, A.A.A. (1976) Soil Sci. 122: 91-99.
- 36- Loneragan, J.F., Gladstones, J.S. and Simmons, W.J. (1968) Aust. J. Agric. Res. 19: 353-364.
- 37- Marquard, R., Kuhan, H. and Linser, H. (1968) Z. Pflanzenernähr Boden. 121: 221-230.
- 38- Martin, J.P. and Page, A.L. (1969) Plant and Soil. 22: 65-80.
- 39- McLachlan, K.D. and De Marco, D.G. (1968) Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husbandry 8: 203-209.
- 40- Melsted, S.W. (1953) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 17: 52-54.

- 41- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principles of Plant nutrition. Inter. Potash. Inst. Bern.
- 42- Mulder, D. (1956) Neth. J. Agric. Sci. 4: 333-356.
- 43- Mulder, D. (1950) Plant and Soil 2: 145-157.
- 44- Nielsen, D.R. and Biggar, J.W. (1961) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 1-5.
- 45- Rensing, L. and Cornelius, G. (1980) Biol. Relsch. 18: 197-209.
- 46- Saalbach, E. and Judel, A. (1961) Sulphur Inst. J. 6: 14-15.
- 47- Salmon, R.C. (1963) J. Sci. Fd. Agric. 14: 605-610.
- 48- Salmon, R.C. (1964) Soil Sci. 98: 213-221.
- 49- Schachtschabel, P. (1940) Kolloid-Beiheft 51: 199-276.
- 50- Stenuit, D.F. (1959) Landw. Forsch, 13. Sonderh 23-29.
- 51- Tisdal, S.L. and Nelson, W.L. (1975) Soil fertility and fertilizers. 2nd ed. USA.
- 52- Ulrich, A., Tabatabai, M.A., Ohki, K. & Johnson, C.M. (1967) In Trace Elements in Human & Animal Nutrition. Academic Press New York, 1971.
- 53- Uzomokwunye, A. and Melsted, S.W. (1973) Soil Sci. 116: 359-362.
- 54- Viro, M. (1973) Fach. Justus-Liebig-Universität Giessen.
- 55- Woodruff, C.M. (1955) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 19: 167.

الفصل السادس

الزنك - النحاس - المنغنيز

1- الزنك Zinc

إن الزنك Zinc هو أحد العناصر الغذائية الصغرى ، والضرورية لنمو النبات ولاكمال دورة حياته على الرغم من أن الكمية المثلثة لاحتياج النبات قليلة جداً . فللعنصر الزنك دور هام في العديد من العمليات الحيوية وكذلك النظام الأنزيمي في النبات . وقد اتجهت عدة دراسات في السنوات الأخيرة لغرض معرفة السلوك الكيميائي للزنك بالتربة وعلاقة ذلك بجاهزية هذا العنصر للنبات ودوره المؤثر في زيادة الانتاج الزراعي وسنحاول في هذا الفصل إلقاء الضوء على تلك الدراسات لبيان أهمية هذا العنصر .

مصادر ومحتوى الزنك في الترب

تتراوح الكمية الكلية من الزنك بالقشرة الأرضية 0.2% من وزنها . وقد اشار (Thorne et al 1942) إلا أن الترب المتكونة من أصل صخر كلسي limestone ذات محتوى أقل من الترب المتكونة من اصل صخر بلوري أو كوارتز . ولاحظ (Mitchell, 1955) إن محتوى الزنك في الصخور القاعدية مثل البيروكسينات Pyroxenes والماجنتيت Magnetite تحتوي حوالي 100 جزء بالمليون ، في حين تحتوي الصخور الحامضية مثل البايوتايت biotite حوالي 50 جزءاً بالمليون ، والصخور الرملية أو الكلسية فإن محتواها أقل من 50 جزءاً بالمليون .

إن معدل محتوى الزنك في الاجزاء اليابسة من الارض يصل تقريباً الى 80 جزءاً بالمليون ، في حين إن محتوى الزنك في الترب يتراوح بين 10 الى 300 جزء بالمليون (Goldschmidt, 1954) .

ويختلف محتوى الترب المتأثرة بالاملاح وفقاً لاختلاف مادة الأصل ، فقد وجد (Stanchev et al 1962) إن محتوى الترب الملحية القلوية المتواجدة في بلغاريا يتراوح بين 40 الى 60 جزءاً بالمليون ، في حين وجد أن محتوى الترب القلوية في الهند يقع بمحدود 25 الى 50 جزءاً بالمليون ، كما لوحظ وجود تغيرات متشابهة في محتوى الترب الكلسية من الزنك فمعدل محتوى نماذج من الترب الكلسية الامريكية كان بمحدود 30 جزءاً بالمليون في حين كان معدل محتوى الترب الكلسية المصرية يصل الى 280 جزءاً بالمليون (Langenbeck & Luckresinger, 1959) . حين كان معدل محتوى الترب الكلسية المصرية يصل الى 280 جزءاً بالمليون (Langenbeck & Luckresinger, 1959) .

واشارت بعض الدراسات على الترب العراقية الى أن قيم الزنك الكلي تتراوح بين 30-80 جزءاً بالمليون: (Awad, 1984, Ali, 1977) في حين اكبد (NAHHOWD, 1981) بأن الترب العراقية فقيرة في محتواها الكلي من الزنك وقد بلغت متوسطاته (27.04) ، (33.73) و (30.24) جزءاً بالمليون في الخطوط موصل - سنجار ، موصل - عقرة ، موصل - زاخو على التوالي . كما أن لمكونات الطين والغرين الدور الايجابي في تحديد كمية الزنك الكلي عندما كان الارتباط معنوياً ($r = 0.809^{**}$) وكذلك المادة العضوية ($r = 0.386^{**}$) .

صور الزنك في التربة

ينتشر الزنك في الترب بصورة مختلفة إما ايونية أو بهيئة مركبات مخلبية ذائبة في محلول التربة . والبعض الآخر يمكن أن يوجد على مواقع التبادل (الصور المتبادلة) ، وقد يدخل الزنك في تركيب بعض معادن الطين من خلال عملية الاحلال المائل أو قد يوجد على شكل مركبات مترسبة أو في صورة معقدات معدنية - عضوية *metale-organic clay complexes* ومن صور الزنك الرئيسية هي :

1- الزنك المعدني

ينتشر الزنك في الجزء المعدني للتربة بهيئة معادن *Ferromagnesium* مثل معدن البايوتايت ومعدن الهوربلند *hornblende* . كذلك يوجد بصورة كبريتيد

الزنك (ZnS). Sphalerite ، كاربونات الزنك (ZnCO₃) Smithsonite ، سيليكات الزنك Zn₄(OH)₂Si₂O₇·H₂O Hemimorphite . وإن بعض هذه المركبات يسود تحت ظروف معينة وقد أشار (Goldschmidt, 1954) الى انتشار الزنك في معادن التربة المختلفة بسبب انحلاله محل المغنيسيوم (نصف قطر المغنيسيوم يساوي 0.78 أنجستروم) أو محل الحديدوز (نصف قطره يساوي 0.83 أنجستروم) إن تجوية المعادن الحاوية على الزنك يساهم في تحرر هذا العنصر الى محلول التربة ومنه يدخل في تفاعلات عديدة قد تؤثر على جاهزيته للنبات .

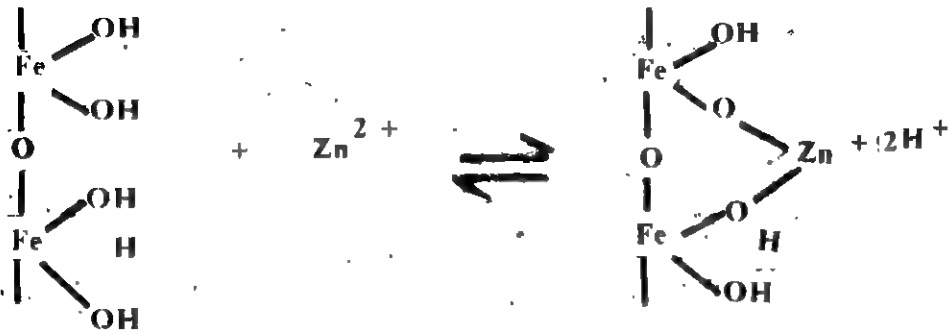
2- الزنك المتبادل والممدص

يحتل الزنك بعض مواقع التبادل على أسطح غرويات التربة وقد يكون بيئة ممدصة غير قابلة للاستخلاص بالطرق الكيميائية المتعارف عليها . ويرتبط الزنك بمواقع التبادل بيئة ايونية Zn^{+2} أو $ZnOH^{+}$ أو $ZnCl^{+}$ وتختلف المعادن بقدرتها التفضيلية لامدصاص هذه الصور الايونية فقد حصل (El-Gabaly & Jenny, 1943) على معلومات تشير الى أن قدرة معادن الكاولينات Kaolinite على امدصاص الزنك الاحادي تفوق قدرة معادن البنتليت bentinite .

وقد وجد (Wiklander, 1953) إن كمية الزنك المتبادل في التربة يتراوح بين (3.5-23.0) جزء بالمليون وإن جزءاً من هذه الكمية لا يمكن استخلاصها بواسطة خلاص الامونيوم ، لذا يمكن اعتبارها الصور المثبتة بواسطة المعادن الطينية التي يمكن تحديدها بأنها الصورة غير الجاهزة للامتصاص من قبل النبات . وقد بين (Power & Pang, 1947) اختلاف قدرة الترب على تثبيت الزنك ، إذ وجد أن 20-100% من الزنك المضاف الى تربة مزيجية يبقى في صورة قابلة للاستبدال ، في حين اشارت دراسة (Chandler et al 1932) الى أن قدرة بعض عينات التربة على تثبيت ما يعادل 170-1000 جزء بالمليون وإن الزنك الممدص بغرويات التربة قد يكون جاهزاً للنباتات إذ يمثل صور الزنك المتبادل والممدص وكذلك المثبت .

إن الغرويات المسؤولة عن مسك الزنك بصورة متبادلة تتكون معادن الطين ذات السعة التبادلية الكايتونية العالية غالباً . ويمدص الزنك بواسطة كاربونات الكالسيوم امدصاصاً نوعياً (Jurinak & Bauer, Specific adsorption 1956, Singh, 1980; Orabi et al 1981). وقد اشار (Saeed, 1977) الى زيادة قدرة الترب المحتوية على نسبة عالية من كاربونات الكالسيوم على امدصاص الزنك ، وإن الكمية الممدصة يمكن ارجاعها للتربة واستفادة النبات منها عالية .

ويدمص الزنك بواسطة الأكاسيد والهيدروكسيدات الحرة المنتشرة في الوسط الحامضي وإن الامدصاص نوعي ويؤثر سلباً على جاهزية الزنك في هذه الترب (Kalbasi et al 1978) ويمكن ايضاح طبيعة الامدصاص بالآتي :

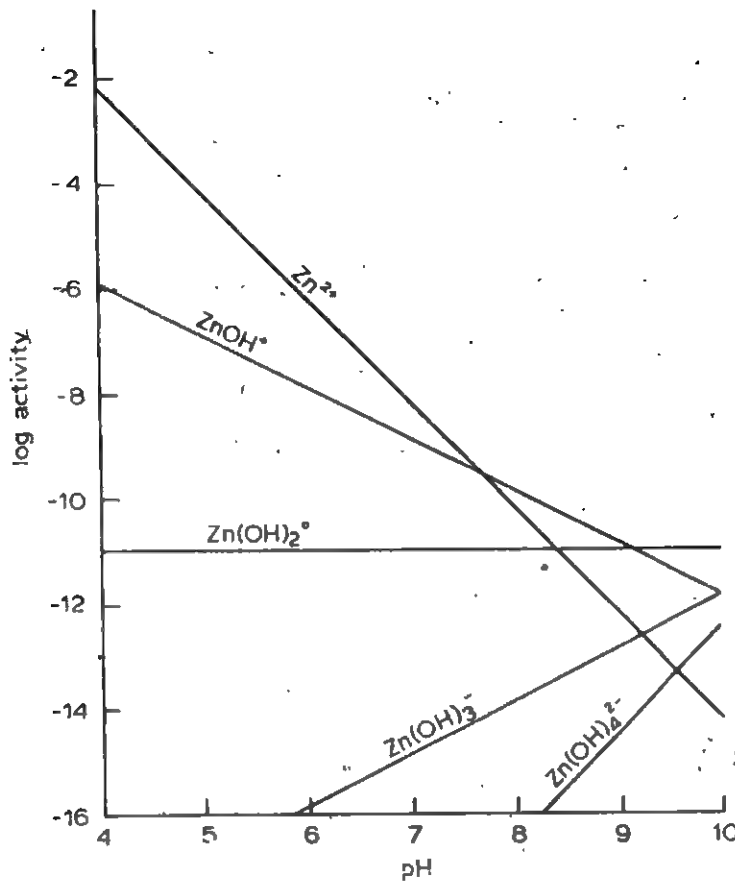


أي أن الزنك يحل محل اثنين من ايونات الهيدروجين مما يؤدي الى تكوين جسر خاص وإن عملية الارجاع للزنك المدمص صعبة جداً مقارنة مع امدصاص الفسفور بواسطة الاكاسيد . وقد بين (Stanton & Burger, 1967) إن اقصى قوة امدصاصية بواسطة الاكاسيد تكون عند pH (5.5-6.5) .

3- الزنك الذائب في محلول التربة

يكون الزنك املاحاً ذائبة مع العديد من الايونات السالبة مثل الكلوريدات والنترات والكبريتات ، وقد يرتبط مع اعادة العضوية في صورة معقدات ذائبة مع المادة العضوية . إن صور الزنك الذائبة في محلول التربة تكون على هيئة Zn^{2+} ، ZnOH^{+} وكميات قليلة من Zn(OH)_3^{-} ، Zn(OH)_4^{2-} وإن تركيز Zn^{2+} و Zn(OH)^{+} يقل عند زيادة تراكيز Zn(OH)_3^{-} و Zn(OH)_4^{2-} أي مع زيادة pH الوسط . ويبين الشكل (1) صور الزنك الذائبة في محلول التربة وعلاقتها مع pH محلول التربة .

أشار (Hodgson et al. 1969) الى إن معدل تركيز الزنك الذائب في محلول التربة الكلسية في ولاية Colorado الامريكية أقل من 2 جزء بالمليون . بينما أوضح (Bradford et al. 1969) بأن تركيز الزنك في مستخلص العجينة



الشكل (1) العلاقة بين اذابة صور الزنك و pH الوسط (Lindsay, 1979).

المشعبة لبعض ترب كاليفورنيا بحدود 0.01-0.4 جزء بالمليون. كما أظهرت التحليلات التي قام بها (Billings et al, 1969) في بعض الترب الكندية وجود الزنك الذائب بمقدار 0.01-10 جزء بالمليون.

إن انتقال الزنك في المحلول ليس من المشاكل التي يجب وضعها في الاعتبار فيما عدا تلك المحاليل المحتوية على ايونات من الكبريتيد وحتى في المحاليل المعتدلة القلوية غير الكبريتيدية فإن كميات كبيرة من الزنك تتواجد على صورة ذائبة في وجود العدد من الايونات السالبة الشائعة.

الزنك الجاهز في الترب

يتضح من السلوك الكيميائي للزنك بالتربة أن كلاً من الصور الذائبة والمتبادلة ذات جاهزية عالية للاستهلاك من قبل النباتات وإن جزءاً من الزنك

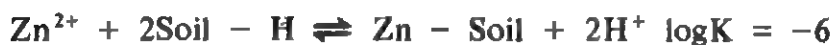
غير المتبادل قد يتحرر بمعدل بطيء قد لا يكفي لسد الاحتياجات النباتية في هذا العنصر. وتلعب حوامض التربة الكيميائية والفيزيائية دوراً هاماً في التحكم في جاهزية، لذا سنحاول دراسة أهمها لكي تكون عاملاً مساعداً في فهم السلوك الكيميائي للزنك الأصلي بالتربة والمضاف بهيئة أسمدة.

العوامل التي تؤثر على جاهزية الزنك

إن المحاولة في توفير كمية مناسبة من الزنك الجاهز بالتربة، تتطلب المعرفة الدقيقة بالعوامل المؤثرة على الصور الجاهزة. ولا بد من الإشارة هنا إلى وجود عدد من العوامل التي تتحكم بالجاهزية أهمها: -

1- درجة تفاعل التربة (pH)

إن زيادة قيمة pH التربة يؤدي إلى انخفاض تركيز الزنك (Zn) في محلول التربة. ويمكن تحديد العلاقة بين الأثنين كما وصفها (Lindsay 1972) بالآتي (Lindsay, & Norvell, 1969)



$$[\text{Zn}^{2+}] = \frac{[\text{H}^+]^2}{10^{-6}}$$

$$= 10^6 [\text{H}^+]^2$$

وهذا يعني أن العلاقة بين الأثنين علاقة طردية، وأن تركيز الزنك يقل بمقدار 100 مرة لكل زيادة في قيمة pH التربة. أي إن تركيز الزنك عند pH = 6 هو:

$$[\text{Zn}^{+2}] = 10^6 \cdot 10^{-12}$$

$$= 10^{-6} \text{ (مول لكل لتر)}$$

وإن تركيز الزنك عند pH = 7 هو:

$$[\text{Zn}^{+2}] = 10^6 \cdot 10^{-14}$$

$$= 10^{-8} \text{ (مول لكل لتر)}$$

لذا يمكن القول إنَّ محتوى الترب العراقية من الزنك قليل بسبب ارتفاع قيم pH هذه الترب .

ولدرجة تفاعل التربة تأثيرات إضافية فهو يعتبر عاملاً هاماً ومحدوداً بنفس الوقت لامتصاص الزنك بالاكاسيد وكذلك ترسيبه بهيئة مركبات مختلفة وكذلك فإن لدرجة تفاعل الترب دوراً مؤثراً على قدرة جذر النباتات على امتصاص هذا العنصر ونقله الى الاجزاء العليا من خلال تأثيره على درجة ثبات المعقدات العضوية الذائبة وغير الذائبة . وكما اوضح (Lutz et al. 1972) فإن زيادة pH التربة تؤدي الى انخفاض تركيز الزنك في النباتات . وقد بين (Bawen, 1969) خلال دراسته لبعض النظريات الحركية ان لايونات الهايدروجين تأثيراً تنافسياً على كل من الزنك والنحاس إذ تعيق من امتصاصها بواسطة الانسجة الورقية لبعض النباتات مثل البنجر السكري .

ان افضل قيم لدرجة تفاعل التربة يكون الزنك بحالة جاهزة ان لم تتداخل معه التأثيرات الأخرى هو من 5-7 في الترب المعدنية ومن 4.5-60 في الترب العضوية . ولهذا يمكن اعتبار القدرة في التحكم في pH التربة وجعله في الحد المناسب له انعكاسات ايجابية على جاهزية الزنك . لذا أتمت الدراسات في خلط الزنك ببعض المحسنات الحامضية أو معاملة التربة ذات الـ pH المرتفع بتلك المحسنات قبل الاضافة . وقد أظهرت هذه الاتجاهات نتائج إيجابية جيدة في تحسين جاهزية الزنك . فقد لاحظ (Ryan et al, 1974) زيادة جاهزية الزنك بعد إضافة المحسنات الحامضية للتربة الكلسية .

2- تأثير كاربونات الكالسيوم

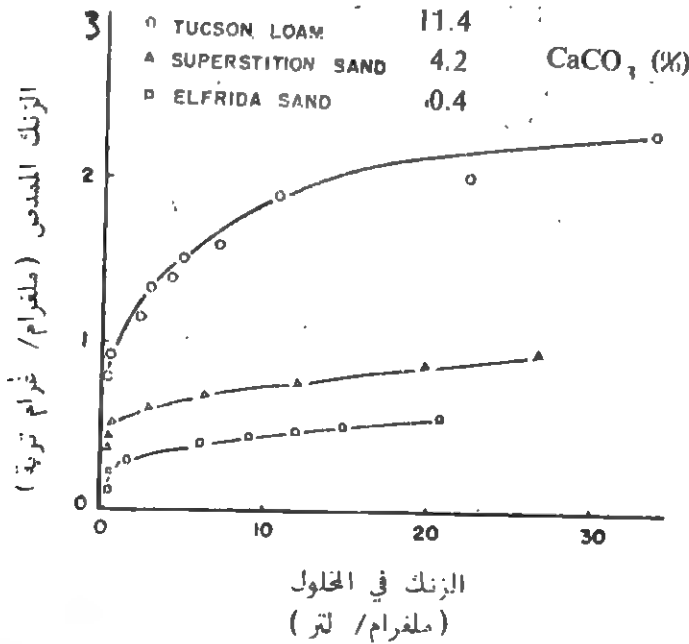
اشار العديد من الباحثين الى ان لكاربونات الكالسيوم تأثيراً سلبياً على جاهزية الزنك . ويمكن تحديد ذلك التأثير بالآتي :

- (1) ان ذوبان كاربونات الكالسيوم يساعد على تحرر أيونات الهايدروكسيل مما تعمل على رفع pH التربة
- (2) لقد اشار (Jurinak & Bauer, 1956) الى وجود تفاعل خاص يطلق عليه بالتفاعل التداخلي بين الزنك وكاربونات الكالسيوم Calcium carbonate-Zn interaction الذي يؤدي الى التقليل من جاهزية الزنك ، ويتلخص هذا التفاعل بإحلال الزنك محل أيون المغنيسيوم بسبب تقارب أنصاف أقطارها . لذا فإن هذا التفاعل يكون سائداً في الترب الكلسية الغنية بالمغنيسايت (MgCO₃) magnesite . وكذلك بالدولومايت Ddomite

Calcite $MgCa(CO_3)_2$ الى حد ما وقد لا يحدث عند وجود الكلسيات $(CaCO_3)$.

(3) لقد اشار العديد من الباحثين الى امدصاص الزنك بالترب الكلسية مما يؤثر ذلك على جاهزيته للنبات. فقد أكد (Udo et al. 1970) هذه الظاهرة وأشار الى إن تركيز الزنك ينخفض بشكل معنوي عند وجود كاربونات الكالسيوم. وأن إمدصاص الزنك يمكن وصفه بمعادلات الامدصاص الأيوني وبالأخص معادلة لانجوميير Langumir equation (الشكل 1).

(4) ان وجود كاربونات الكالسيوم يؤدي الى ترسيب الزنك على هيئة كاربونات الزنك $ZnCO_3$ أو هايدروكسيد الزنك $Zn(OH)_2$ حسب ما أورده (Chaudhry et al. 1976). ولكن هذا الرأي قد لا يرى التأييد من قبل بعض الباحثين بسبب اعتبار النواتج المذكورة مركبات عالية الذوبان ويمكن استخدامها كسماد (Allen & Terman, 1966). وقد أشار (Kalbasi et al, 1978) الى تكوين مركبات اكثر ترسيباً من كاربونات وهايدروكسيدات الزنك ويرجع لها السبب في خفض جاهزية الزنك بالترب الكلسية.



الشكل (1) (أ) العلاقة بين تركيز الزنك في محلول الأتزان والكمية الممدصة على سطح غرويات الترب الكلسية ذات المحتوى المختلف من كاربونات الكالسيوم (ب) وصف التفاعل بين الزنك وغرويات الترب الكلسية ذات المحتوى المختلف من كاربونات الكالسيوم حسب نظرية لانجوميير Langumir equation (Udo et al. 1970)

(5) المحتوى العالي من كاربونات الكالسيوم يؤدي الى تكوين تركيز عالٍ من ايونات الكالسيوم والبيكاربونات في محلول التربة . وهذه الايونات تأثير قوي في خفض قدرة النبات على امتصاص الزنك (Forno, Wlance et al 1974,)
1970) فقد حدد (Chaudhry & Loneragan, 1972) التركيز الحرج المؤثر من الكالسيوم بمحدود 40 ملي مول كالسيوم / لتر في محلول التربة . ولهذا نرى تركيز الزنك في النبات يقل مع زيادة نسبة كاربونات الكالسيوم في التربة .

3- تأثير معادن الطين والاكاسيد الحرة

لقد عرف منذ فترة طويلة أن لبعض معادن الطين قدرة على تثبيت الزنك في صورة غير جاهزة للنبات ، فقد اشار (Elgabaly, 1950) و (Elgabaly et al, 1943) الى تأثير معادن الطين على جاهزية الزنك وإن نسبة عالية منه تثبت في معادن البروسايت brucite الفيرمايكوليت vermiculite والطين المشبع بالمغنيسيوم Mg-Saturated Clay وقد تصل الكمية المثبتة الى حدود 134-344 ملي مكافئ زنك لكل 100 غرام تربة . أما المعادن المسكوفات Muscovite و bentonite الكاؤولينايت Kaolinite و Pyrophyllite والبايوتايت biotite فقدرتها على التثبيت محدودة تصل الى حدود 6-24.5 ملي مكافئ زنك لكل 100 غرام تربة . كما أشار (Elgabaly & Jenny, 1943) الى قدرة جذور نباتات الشعير على ازالة الزنك من معادن الطين bentonite (البتونايت) بدرجة اكبر من معادن الكاؤولينايت .

وتلعب الاكاسيد الحرة في الترب الحامضية الدور الاكثر تأثيرا في عرقلة جاهزية الزنك . وكما سبق ان اوضحنا ان الامدصاص بهذه الغرويات هو امدصاص نوعي . وعند عرض المدلولات العملية لنتائج (Kalbasi et al, 1978) والمبينة في الجدول (1) نرى ان الامدصاص يزداد مع ارتفاع قيمة pH الوسط ضمن حدود الحموضة وان قدرة أيون الباريوم لازاحة المدص تقل مع ارتفاع pH الوسط ايضا مما يشير الى التأثير السلي على جاهزية الزنك المضاف الى الترب الحاوية على هذه الاكاسيد .

جدول (1) إمدصاص الزنك بواسطة اكاسيد الحديد والالمنيوم .

pH المعلق	الزنك المدص ملي مول / 100 غرام	(%) قدرة الباريوم على طررد الزنك (باستعمال IM BaCl ₂)
أكسيد الالمنيوم		
6.42	5.75	0.35
6.70	15.00	0.28
6.92	34.65	0.17
أكسيد الحديد		
6.42	18.30	0.30
6.66	27.55	0.23
6.96	56.45	0.10

4- تأثير المادة العضوية

اوضحت دراسات عديدة بان هنالك علاقة تلازمية قوية بين المادة العضوية وجاهزية الزنك (مثل ، Follett & Lindsay و Haq & Miller, 1972 و Brown et al 1971 و 1970) فقد تتداخل المادة العضوية مع الزنك فتكون الاتي :

1- المعقدات الذائبة Soluble Zinc-organic Complexes

2- المعقدات غير الذائبة Insoluble Zinc-organic Complexes

وقد اشار (Hodgson et al. 1965, 1966) الى ان 60% من الزنك يكون بصورة ذائبة بعد اضافة المادة العضوية الى التربة ، وان هذه النسبة تعتمد على نوعية المجاميع الموجودة في المادة العضوية وتركيبها . إذ لوحظ ان مجاميع المادة العضوية الحاوية على حوامض الفولفيك (Fulvic acids) تكون معقدات زنك ذائبة بالماء ، أما المجاميع العضوية الحاوية على حوامض الدباليك (Humic acids) فتكون معقدات غير ذائبة بالماء (Stevenson & Adakani, 1972) . فقد بين (Milap Chand & Sinha, 1980) ان اضافة حوامض الفولفيك الى تربة ملحية قلوية (pH = 8.2) ادى الى زيادة تركيز الزنك من 10^{-4} مول / لتر

في معاملة المقارنة Control الى $10^{-3} \times 1.2$ مول في المعاملة التي اضيف لها حامض الفولفيك ، اي بواقع زيادة قدرها $10^{-4} \times 3$ مول / لتر ، كما لاحظ ان اضافة هذه الحوامض ساعدت على زيادة انتاج المادة الجافة لمحصول الرز وكذلك محتواها من الزنك والكمية الكلية الممتصة مما يعكس لنا بوضوح اهمية المادة العضوية في زيادة جاهزية الزنك .

5- تأثير الملوحة

يؤثر المستوى الملحي للتربة على جاهزية الزنك من خلال تأثير التركيز العالي لبعض الايونات السالبة والموجبة الذائبة في محلول التربة . فقد سبق أن اوضحنا تأثير زيادة تركيز الكالسيوم والبيكاربونات على جاهزية الزنك وهناك بعض الدراسات التي تبين تأثير ايونات اخرى . فقد اشار (Shukla et al. 1980) الى ان زيادة القوة الايونية لمحلول التربة يشجع امتصاص الزنك على سطح الغرويات ، كما ان زيادة كمية الصوديوم المتبادل في التربة يؤدي الى زيادة قدرة التربة على امتصاص الزنك بالمقارنة مع الايونات الموجبة الاخرى . ويمكن ترتيب قدرة الزنك على الامتصاص وتأثير نوع الايون الموجب السائد على السطح بالآتي :

الصوديوم < البوتاسيوم < المغنيسيوم < الكالسيوم < الهايدروجين

اي بمعنى ان قدرة الزنك على الامتصاص في الترب الحاوية على نسبة عالية من الهايدروجين المتبادل قليلة جداً وبذلك تكون الجاهزية عالية .

6- تأثير الرطوبة

اشار كل من (Van Schaik et al. 1966) و (Phillips & Brown, 1968) و (Koshino & Sekizawa, 1973) الى زيادة حركة الزنك وانتشاره بزيادة المحتوى الرطوبي بالتربة . وقد بين (Rossi & Beauchamp, 1971) ان كمية الزنك الممتصة من قبل نبات فول الصويا المزروع في احواض ترابية لمدة سبعة ايام عند رطوبة نسبة 70% اكثر من الكمية الكلية الممتصة عندما تكون الرطوبة النسبية 25% . كما وجد (Glordano, 1979) ان تركيز الزنك في نبات الرز المزروع في الترب المغمورة بالماء اكثر من تركيزه في النباتات المزروعة في ترب غير مغمورة .

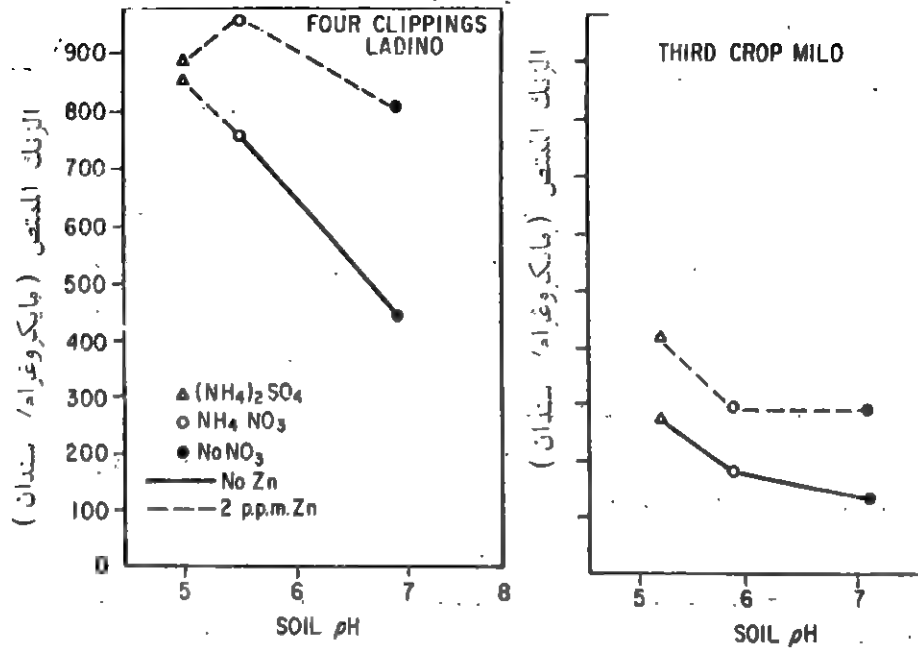
7- تأثير اضافة الاسمدة النايروجينية :

لوحظ أن اضافة الاسمدة النايروجينية تؤدي الى نقص الزنك الجاهز للنبات ، اذ تظهر اعراض نقصه على النبات (Chaudhry & Lone 1970). وقد برزت اسباب ذلك بعدة ظواهر منها الآتي :-

(أ) قابلية النبات على تثبيت الزنك في المجموع الجذري بتكوينه معقدات غير متحركة مع البروتين *immobile Zn-protein complexes* ، وهذا بالطبع يمنع حركة الزنك الى اجزاء النبات الاخرى (Ozanne, 1955).

(ب) تختلف قدرة الاسمدة النايروجينية على التأثير ، فسماد نترات الصوديوم وسماد اليوريا لها تأثير فعال في زيادة نقص الزنك في النباتات عن طريق خفض اذابة الزنك نتيجة لزيادة pH التربة بعد اضافة هذه الاسمدة (اسمدة قاعدية التفاعل) . فقد ايد (Giordano et al. 1959, Viets 1966) هذا التفسير بعد تجارب خاصة لبيان تأثير هذه الاسمدة على جاهزية الزنك . في حين اشار (Forno, 1970) الى ان سماد اليوريا تأثيراً اضافياً على جاهزية الزنك من خلال السيكاربونات الذي يمنع امتصاص الزنك .

(ج) لاحظ البعض ان اضافة الاسمدة النايروجينية الحامضية التفاعل مثل سماد كبريتات الامونيوم وسماد نترات الامونيوم لها تأثير ايجابي في زيادة امتصاص الزنك بسبب قدرة هذه الاسمدة على خفض pH التربة (Boawn et al., 1957) . ووضحوا ان مثل هذا التأثير ليس ذا أهمية محسوبة في الترب الطينية الكلية ذات القدرة التنظيمية العالية . ولمقارنة الاسمدة النايروجينية في تأثيراتها على جاهزية الزنك يمكن الرجوع الى نتائج (Viets et al. 1957) كما موضحة في الشكل (2) .



▲ كبريتات الامونيوم
 ○ نترات الامونيوم
 ● نترات الصوديوم
 — بدون زنك

..... 2 جزء بالمليون زنك مضاف

الشكل (2) تأثير الاسمدة النيتروجينية على pH التربة وجاهزية الزنك.

8- تأثير الاسمدة الفوسفاتية

لقد درس التفاعل بين الزنك والفسفور من قبل عدد من الباحثين . وقد كان معروفاً ان المستوى العالي من الفسفور المضاف بسبب نقصاً بالزنك الممتص ، وقد عزي سبب ذلك للآتي :

(أ) تكوين رواسب على هيئة مركبات فوسفات الزنك كان الاعتقاد السائد عن تأثير الفسفور المضاف على جاهزية الزنك هو تكوين مركب قليل الذوبان هو فوسفات الزنك $Zn_3(PO_4)_2$. وقد اعتبر هذا المركب مسؤولاً عن نقص الزنك في الترب المختلفة . فقد حاول (Bingham, 1963) دراسة هذا المركب ودوره في نقص الزنك ، ولاحظ ان هذا المركب يعطي تركيزاً

من الزنك مقداره 16 مايكرومول حتى في pH مساوياً الى 8 ، في حين احتياج النبات لا يزيد عن 0.1 مايكرومول وهذا لا يمكن النظر اليه كمركب مسؤول عن نقص الزنك . وقد دفعت هذه النتائج (Terman, Allen & 1966) الى استخدام هذا المركب كسماد .

وعند دراستنا لظروف تكوين هذا المركب في الترب العراقية (1984 . Awad) وجدنا أن اذابة المركب $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ والمركب $ZnHPO_4$ عالية جداً بحيث يصعب عليها التحكم في ذوبان الزنك في مثل هذه الترب وهذا يؤكد ان التفاعل خارج النبات ليس كافياً لشرح التداخل بين الزنك والفسفور .

(ب) لاحظ (Chaudhry and Loneragan, 1970) إن اضافة الفسفور تقلل من تركيز الزنك في قمة النبات من خلال تأثير الفسفور في زيادة النمو مما يؤدي ذلك الى تخفيف تركيز الزنك فقد اشار (Sharma et al 1973) الى قدرة الفسفور على زيادة النمو بمقدار 10 مرات وهذا بالطبع يؤدي الى انخفاض التركيز . وهذا يمكن التعبير عن هذا العامل بتأثير التخفيف dilution effect .

(ج) الاضطراب الحيوي في خلايا النبات الناتج من عدم التوازن بين احتياج النبات من الزنك والفسفور . فقد اشار (Millikan et al. 1968) الى أهمية العلاقة P/Zn في تحديد تأثير الفسفور على جاهزية الزنك وحركته داخل النبات . إن الفسفور يشجع نقص الزنك بسبب عدم التوازن بين نسبة الفسفور الى الزنك وهذا بالأساس كانت نتيجة اختلاف معدل حركة الزنك والفسفور من الجذور الى القمم (Awad, 1984, Burleson 1961 et al) .

(د) فسر بعض الباحثين تأثير الفسفور في زيادة نقص الزنك ، بتكوين الزنك لمعقدات غير متحركة داخل المجموع الجذري مع البروتين وإن الفسفور يشجع تكوين هذه المعقدات (Burleson et al 1961) .

الزنك والعناصر الغذائية الصغرى الأخرى

إن اضافة عنصر النحاس يساعد على زيادة نقص الزنك . فقد أوضح (Lacas 1945) أن اضافة النحاس يؤدي الى ظهور اعراض نقص الزنك على النبات وقد فسر سبب ذلك في قدرة النحاس على منع النبات من امتصاص الزنك . وقد لاحظ (Schmid et al, 1965) هذه الظاهرة في محاصيل مختلفة وقد عزا سبب ذلك لتشابه مواقع امتصاص الزنك والنحاس على جذور النبات . وقد أضاف

(Hodgson, 1960) الى ذلك بأن قدرة النحاس على الحركة في محلول التربة اعلى من حركة الزنك مما يساعد ذلك على امتصاص اكبر للنحاس . وقد لاحظ (Kausar et al 1976) أن المحاصيل الزراعية تختلف في قدرتها على الاستجابة للتأثير المتداخل بين النحاس والزنك ، فقد وجدوا أن تأثير النحاس في تقليل محتوى النبات من الزنك في الحنطة اكثر من الرز .

أما عنصر الحديد فإنه يؤدي الى زيادة حركة الزنك في النبات . أي يؤدي الى زيادة احتياج النبات الى الزنك . وإن Fe/Zn تزداد ، ويعتمد الحد الحرج لهذه النسبة على نوع النبات وبشكل عام فإن النسبة $\frac{Fe}{Zn}$ المساوية الى 20 تمثل الحد المطلوب في معظم المحاصيل الزراعية .

الزنك ونمو النبات

إن الزنك عنصر غذائي ضروري لنمو المحاصيل الزراعية لذا فإنه يوجد في جميع الانسجة النباتية ويتجمع بتركيزات مختلفة في اجزاء النبات المختلفة . فقد (Sparr et al 1968) جدولاً قياسياً يبين تركيز الزنك في نباتات مختلفة ، ومن هذا الجدول يمكن استنتاج الحدود المعبرة عن السمية أو النقص أو الكفاية . وقد أشار (Chapman, 1966 و Gladstones & Loneragan, 1967) الى أن الحد المطلوب للزنك في النبات يتراوح بين 10-100 جزء بالمليون لمعظم المحاصيل الزراعية . وبصورة عامة يكون محتوى الزنك عالياً في البادرات ويقل مع تقدم العمر (Riceman & Jones, 1958, Corsline et al 1965) . وقد ذكر (علي ، 1977) أن الحد الحرج لتركيز الزنك في نبات الذرة الصفراء المزروع في الترب العراقية هو (17.5) جزء بالمليون .

يعتبر الزنك عاملاً مساعداً لعملية الاكسدة في خلايا النبات . وتأقي اهمية هذه العملية في تنظيم استهلاك السكر وزيادة الطاقة اللازمة لانتاج صبغة الكلوروفيل وتساعد على تكوين الاوكسينات Auxins كما تعزز امتصاص الماء وتمنع التفرغ . ويدخل الزنك في أنزيم Carbonic anhydrase الذي يحفز تحلل حامض الكربونيك الى ثاني اوكسيد الكربون والماء وهو ضروري ايضاً لتكوين الحامض الاميني tryptophane ويعمل الزنك على ربط الانزيمات والمواد الخاضعة لفعل الحائز وتكثيفها ويشترك في العمليات الحيوية للنايتروجين في النبات الى حد كبير .

وله دور في تكوين النشا .

أعراض نقص الزنك

يعتبر الزنك من العناصر غير المتحركة داخل النبات ، لذا فإن أعراض نقصه المتعلقة باللون تظهر على الأوراق الحديثة التكوين . والنباتات التي تعاني من نقص الزنك تمتاز بتلون العروق الوسطية للورقة بلون أصفر ، أما بقية مساحة الورقة فإن لونها أخضر شاحب أو مصفر وأحياناً يكون أبيض . ومستوى الزنك في النباتات التي تعاني من نقص الزنك يتراوح ما بين 0-10 جزء بالمليون في المادة الجافة .

إن نقص الزنك في اشجار الفاكهة قد يؤدي الى تساقط الاوراق . ونتيجة للاختلاف في الاعراض بين النباتات وصعوبة التمييز احياناً بين اعراض الامراض أو الالوان الخاصة باعراض نقص عناصر أخرى ، يوصى العديد من الباحثين باعتماد التحاليل النباتية وهذا يتطلب معرفة الحدود المطلوبة لنمو وانتاج افضل .

أسمدة الزنك وطرق إضافتها

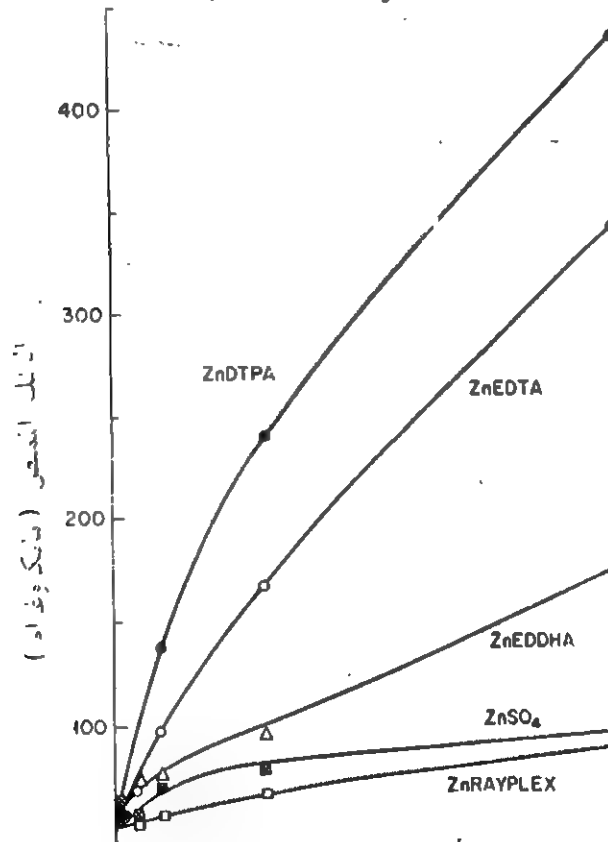
تضاف أسمدة الزنك لمعالجة نقص النبات غالباً . ويعتبر سماد كبريتات الزنك $ZnSO_4$ من أكثر الأسمدة المعدنية شيوعاً . يحتوي هذا السماد على 36% زنك ويضاف بطريقة الرش لمعالجة النقص أو يضاف بشكل مباشر للتربة . يمتاز هذا السماد بكونه ذائباً بالماء ويتفاعل مع مكونات التربة المختلفة مكوناً مركبات ذات حاصل اذابة مختلف ففي الترب الكلسية يتعرض الزنك المتحرر من السماد الى تفاعل خاص مكوناً كاربونات وهيدروكسيدات الزنك ($ZnCO_3$, $Zn(OH)_2$) كنواتج وسطية تتحول مع الزمن الى مكونات اقل ذوباناً واقل جاهزية . فقد درس (Kalbasi et al, 1978) تفاعل سماد كبريتات الزنك في تربة غير كلسية (pH 8.2) ووجدوا أن المركب $Zn(OH)_2$ يعتبر ناتج التفاعل الرئيسي في التربة الذي يبقى لفترة لا تتجاوز اربعة اسابيع يتحول بعدها الى مركب اقل ذوباناً وجاهزية . أما إضافة السماد المذكور الى ترب كلسية فإن النواتج الرئيسية من التفاعل كانت $ZnCO_3$ و $Zns(CO_3)_2(OH)_6$ وقد تحولت أيضاً بعد اسبوعين الى نواتج اقل ذوباناً وجاهزية .

ونظراً لحركة الزنك البطيئة بالتربة ، فإن طريقة الأضافة السطحية للأسمدة الكيماوية المعدنية ستكون ذات تأثير قليل أو محدود . فقد بين (Lindsay, 1972) أهمية اضافة سماد كبريتات الزنك بطريقة الجور مما يعطي جاهزية اكبر بالمقارنة مع الطرق المختلفة وبالأخص بالترب القاعدية التفاعل . وفي دراسات

اخرى ، بينت اهمية طريقة الخلط أو الأضافة السطحية في الترب المتعادلة أو القليلة التثبيت .

أجريت عدة دراسات مقارنة لبيان كفاءة الاسمدة العضوية وغير العضوية مركبات الزنك الخلبية تعدُّ مصدراً جيداً غالباً لتجهيز الزنك في مختلف الترب بالمقارنة مع المصادر غير العضوية . وفي دراسة (Andersson, 1964) على انواع عديدة من المركبات الخلبية لمعالجة نقص الزنك في الذرة الصفراء النامي في الترب الكلسية وقد بينت النتائج في الشكل (3) التأثير الفعال للمركبات الخلبية بالمقارنة مع المصادر المعدنية . ونتائج المقارنة بين صور مركبات الزنك الخلبية تكون بالترتيب التالي

$ZnDTPD \gg ZnEDTA \gg ZnEDDHA \gg ZnSO_4 \gg Zn Rayplex$.



الشكل (3) تأثير المركبات الخلبية المختلفة المضافة بطريقة الجور في تربة كلية على كمية الزنك الممتصة بواسطة محصول الذرة الصفراء .

ZnDTPA, Zinc diethylenetriaminepentaacetate; **ZnEDTA**, Zinc ethylenediaminetetraacetate; **ZnEDDHA**, Zinc ethylenedia-aminedi (o-hydroxyphenylacetate).

وقد أشار (Lindsay, 1972) الى عدم وجود اختلاف بين ZnEDTA و ZnDTPA في حدود pH من 6 الى 7 . أما المصدر ZnEDDHA فإنه يعتبر من المصادر الفقيرة في الزنك (9% تقريباً) كما انه يعتبر مصدراً غير مستقر في التربة (Lindsay et al. 1967) . اما المصدر Zn-Ray plex فإنه سريع التحلل في التربة مما يؤدي الى زيادة تدهور الزنك .

إن لخصائص التربة تأثيراً هاماً في اختيار نوع السماد وطريقة اضافته . ففي الترب الرملية يفضل اضافة اسمدة الزنك بطريقة الرش وذلك لتقليل الكمية التي ستفقد بالغسل ، خصوصاً عند استعمال الاسمدة المعدنية مثل كبريتات الزنك لكونه سماداً عالي الذوبان بالماء ، وكذلك في الترب القاعدية بقدرتها على التثبيت العالي ، لذا يفضل اختيار المركبات الخلية في الترب القاعدية والكلسية . ويجب الحذر في اختيار نوع السماد المناسب للاراضي المزروعة بالرز ، فسماد كبريتات الزنك يعتبر من الاسمدة غير المناسبة لمثل هذه الاراضي وذلك لتكوين غاز H_2S السام بفعل تحول ايونات الكبريتات في الظروف اللاهوائية . ولهذا فإن سماد ZnO يعتبر اكثر كفاءة من سماد كبريتات الزنك على الرغم من كون الاول أقل ذوباناً وجاهزية . وقد أيد (Randhawa et al, 1978) هذه الفكرة بعد أن أجرى عدة تجارب في حقول الرز على كفاءة الاسمدة الحاوية على زنك .

يضاف الزنك للترب بمعدل 50-100 كغم زنك لكل هكتار . وقد يضاف الزنك لمختلف الترب والمحاصيل ويساهم في زيادة الانتاج (جدول 2) . ولابد من الاشارة الى وفرة عدد من اسمدة الزنك المختلفة بمحتواها وخصائصها وتأثيراتها على الترب المضافة (جدول 3) .

جدول (2) تأثير اضافة الزنك على انتاجية حبوب الحنطة . (Serry 1974 et al) .

المعاملة	تربة كلسية	تربة طينية
	« طن / هكتار »	
NPK	4.21	1.49
$ZnSO_4$ + NPK (أضيف بطريقة الرش)	4.67	1.54
NPK + 24 كغم $ZnSO_4$ / هكتار	4.68	1.86
(أضيف للتربة مباشرة)		
NPK + 48 كغم $ZnSO_2$ / هكتار	4.62	2.09
(أضيف للتربة مباشرة)		

جدول (3) مصادر اسمدة الزنك (Mortvedt et al. 1972).

المصدر	الصيغة	محتوى الزنك %Zn
كبريتات الزنك احادية الماء	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	35
كبريتات الزنك سداسية الماء	$ZnSO_4 \cdot 6H_2O$	23
اوكسيد الزنك	ZnO	78
كاربونات الزنك	$ZnCO_3$	52
كبريتيد الزنك	ZnS	67
فوسفات الزنك	$Zn_3(PO_4)_2$	51
الزنك الخلي	$Na_2Zn EDTA$	14
	$NaZn NTA$	13
	$NaZn HEDTA$	9

2- النحاس Cupper

يعتبر عنصر النحاس من العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات التي يحتاجها بكميات قليلة بالمقارنة مع عناصر غذائية اخرى يحتاجها النبات بكميات اكبر مثل النايروجين والبوتاسيوم وغيرها . يتواجد النحاس بصور متعددة ومختلفة في مدى جاهزيتها للنبات . وسنحاول في هذا الجزء دراسة السلوك الكيماوي لعنصر النحاس في التربة وعلاقة ذلك بالانتاج الزراعي مع بيان اعراض النقص وكيفية المعالجة باستخدام الاسمدة المختلفة .

النحاس في التربة

يتواجد النحاس في التربة بكميات قليلة فقد ذكر (Bear. 1965) إن معدل ما تحتويه القشرة الارضية من النحاس يقدر بـ (70) جزءاً في المليون . ونظراً لدخول عنصر النحاس في التركيب البنائي للصخور فإن محتوى الترب الكلي من هذا العنصر يختلف وفقاً لطبيعة مادة الأصل . وقد أشار كل من (Kovda, 1961) و (Wodephl & Turekian, 1961) الى أن الصخور النارية كالبازلت والدوليرايت Dolerite تحوي على 100-200 جزء بالمليون في حين تحوي الصخور الحامضية كالـ Rehyolite والكرانيت Granite على 10-20 جزءاً في المليون

أما الصخور المتحولة كالشست Schist وبعض الصخور الرسوبية كالطين وال Limestone, Sandstone فتراوحت كمية النحاس ما بين 10-15 جزءاً في المليون . وقد ذكر (Bear, 1965) إن ما يحويه البلاجوكليس 40 جزءاً في المليون والبايروكسين 35 جزءاً بالمليون والاولفين 30 جزءاً في المليون .

يوجد النحاس في الطبيعة بصورة معدن نقي فقد ذكر (Sanchalli, 1969) بأن هنالك مجموعتين رئيسيتين من المعادن الحاوية على النحاس وهي : -

1- معادن كبريتيدية Sulfideores وتشمل :
Chalcite (Cu_2S); Chalcopyrite (CuFeS_2), Covelite (CuS)

2- معادن الاكاسيد النحاسية وتشمل
Cuprite (Cu_2O); Malchite (CuCO_3); Tenorite (CuO); Cupric ferrite (CuFe_2O_4); $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$, Azurite.

وعموماً فإن محتوى الترب يختلف من تربة الى اخرى فقد ذكر (1965 Black) بأن محتوى النحاس الكلي في الترب التي تعاني من نقص النحاس يتراوح من 1-3 جزء في المليون ويصل الى 200 جزء في المليون في ترب أخرى . كما اكدت الابحاث التي اجريت على ترب مختلفة النسجة ان محتوى النحاس الكلي يزداد مع زيادة محتوى الفرين والطين (Agrawal & Motiramant, 1966) . فقد ذكر (Jammal, 1980) ان كمية النحاس الكلي في الترب العراقية تراوحت بين 23.5-54 جزء في المليون .

ويعتبر الجزء العضوي من التربة مصدراً هاماً لتجهيز التربة بعنصر النحاس إذ يرتبط هذا العنصر مع المادة العضوية مكوناً معقدات غير ذائبة . لذا يمكن اعتبار المادة العضوية العامل الرئيسي المؤثر على حركة النحاس وتجمعه في التربة .

صور النحاس في التربة

سنحاول مناقشة السلوك الكيماوي لصور النحاس في التربة مع بيان تأثير ذلك على جاهزيته للنبات . يوجد عنصر النحاس بصور مختلفة هي :

أ - النحاس في الحيز غير المستقر
وهو يشمل الجزء الموجود في التركيب البلوري لمعادن التربة وكذلك الداخل ضمن مركبات النحاس المختلفة . كما أن النحاس المرتبط بواسطة اكاسيد التربة

الذي لا يمكن استخلاصه بالمستخلصات الاعتيادية والذي يطلق عليه بالنحاس غير المتحرك بالتربة يصنف ضمن مجموعة النحاس في الحيز غير المستقر .

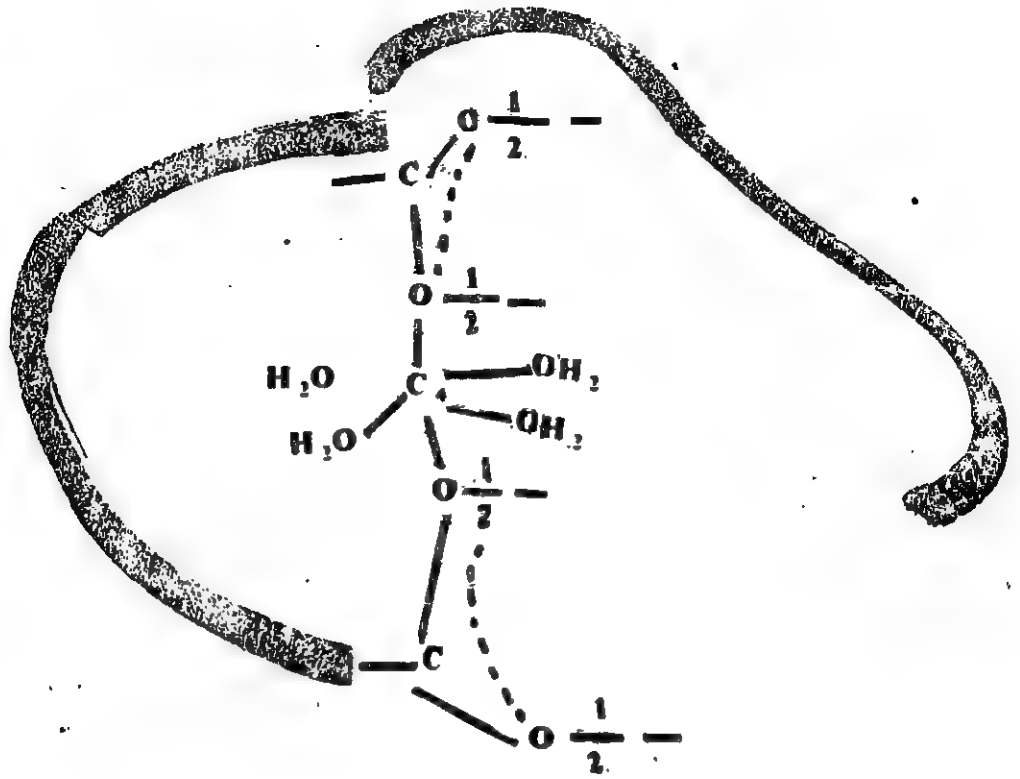
ب - النحاس المتبادل والممدص

يرتبط النحاس بمواقع التبادل الايوني لذا يطلق على هذا الجزء بالنحاس المتبادل : والصور السائدة الارتباط هي ايون Cu^{+2} وايون $CuOH^+$ وغالباً ما يوصف هذا الجزء بأنه جاهز للنبات . وقد أشار كل من (Jackson, 1951 Menzel &) بأن كمية Cu الممدص بواسطة معدن المونتوريونيت تفوق حدود السعة التبادلية الكاتيونية للمعدن في ظروف pH تربة متعادلة أو قلوية . وقد عزا (Bingham et al., 1964) سبب وجود زيادة في كمية Cu الممدصة الى ترسيب تلك الزيادة بهيئة هايدروكسيدات أو كما ادعى (Misra & 1966 Tiwari) بأن الترسيب يكون على هيئة hydroxycarbonates . وقد اشار (McBride, 1978) الى أن النحاس يمدص بواسطة اكاسيد الالنيوم وإن قوة الربط قوية جداً مما قد يعرقل تحرره وجاهزيته للنبات .

ج النحاس المرتبط مع المادة العضوية

لقد اشار (Hodgson et al. 1966) الى أن أكثر من 98% من النحاس الذائب في محلول التربة يرتبط مع المادة العضوية مكوناً معقدات ثابتة .

في حين اكد (Broadbent & Bradford, 1952) ان النحاس يرتبط مع المادة العضوية من خلال الجاميع الكربوكسيلية والفيثولية مكوناً معقدات هو Copper-organic matter Complexes في حين اوضح كل من (DeMumbrun, 1956) بأن النحاس يرتبط مع المادة العضوية من خلال الجاميع الهايدروكسيلية . وقد بين (Hodgson et al., 1966) ان ارتباط النحاس مع حوامض الفولفيك . يكون معقدات ذائبة في حين أشار (Stevenson & 1972 Ardakani) الى ان ارتباط النحاس مع حوامض الدباليك humic acid يكون معقدات غير ذائبة . وقد وصف (McBride, 1978) ارتباط النحاس مع الجاميع الكربوكسيلية للمادة العضوية بالشكل التالي

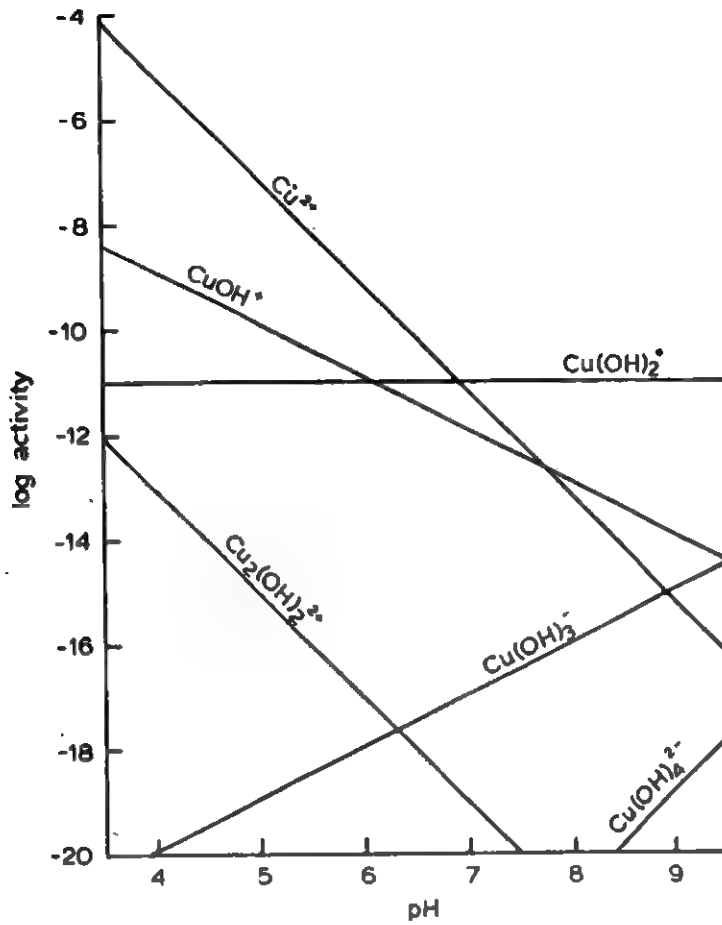


د - النحاس الذائب بمحلول التربة

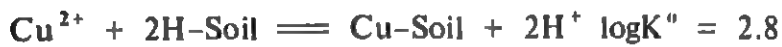
إن تركيز النحاس في محلول التربة قليل جداً ويقع بمحدود 10×10^{-6} إلى 60×10^{-6} مول / لتر. وتعتبر الصورة الأيونية Cu^{2+} أكثر الصور استقراراً وسيادة في حدود pH أقل من 7. في حين تكون السيادة للصورة CuOH^+ في محلول التربة عند pH أعلى من 7. أما الصور الأيونية $\text{Cu}_2(\text{OH})_2^{2+}$ و $\text{Cu}(\text{OH})_2$ فإن تركيزها قليل جداً وتشكل جزءاً يسيراً من التركيز الكلي الذائب في محلول التربة (الشكل 1).

العوامل التي تؤثر على جاهزية النحاس 1- تأثير درجة حموضة التربة (Soil pH)

تتأثر جاهزية النحاس للنبات بدرجة حموضة التربة (pH) إذ أشار (Lindsay 1979) إلى أن ارتفاع pH التربة وحدة واحدة عما يكن عليه فإن تركيز النحاس في محلول التربة يقل بما يعادل 100 مرة وقد وصف هذه العلاقة من خلال المعادلات التالية :



الشكل (1) العلاقة بين pH الوسط وتركيز صور النحاس الذائبة في محلول التربة (Lindsay, 1979)



$$\frac{[\text{H}^+]^2}{[\text{Cu}^{2+}]} = K$$

$$[\text{Cu}^{2+}] = 10^{-2.8} [\text{H}^+]$$

ولو افترضنا ان pH الوسط يساوي (7) فان

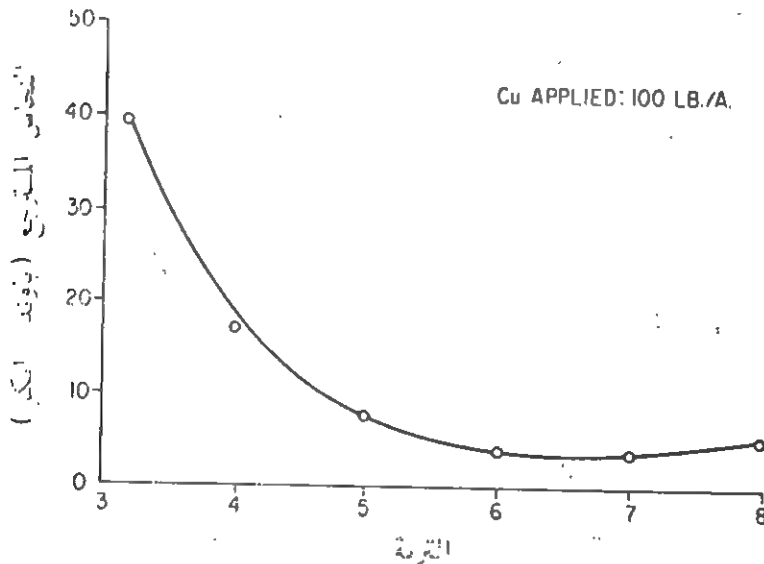
$$[\text{Cu}^{2+}] = 10^{-16.8} \text{ مول / لتر}$$

اما عندما يكون pH الوسط مساويا الى (8) فان

$$[\text{Cu}^{2+}] = 10^{-18.8} \text{ مول / لتر}$$

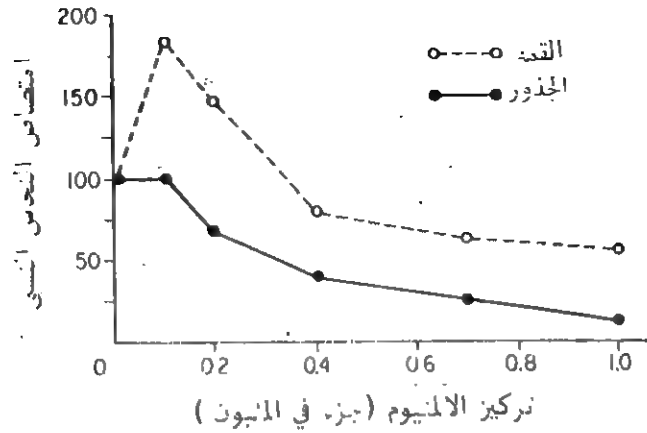
وهذا يعني أن ارتفاع قيمة pH التربة من 7 إلى 8 قد أدى إلى انخفاض التركيز بما يعادل 100 مرة عما كان عليه .

وقد درس (Peech, 1941) العلاقة بين pH التربة وكمية النحاس المتبادل في تربة رملية وقد وجد (الشكل 2) أن ارتفاع pH التربة يؤدي إلى انخفاض كمية النحاس المتبادل في التربة مما يعني أيضاً انخفاض في جاهزية النحاس للنبات . وقد أشار كل من (Neelakantan & Metha, 1961) إلى أن جاهزية النحاس تقل في الترب الكلسية وقد أكد (Gilbert, 1952) أن نقص النحاس يكون سائداً في الترب الكلسية . والقاعدية إذ تمتاز مركبات النحاس أيضاً بقابلية للذوبان قليلة جداً . وقد حصل (Damaty, 1973) وكذلك (Atlavina, 1965) على علاقة ارتباط سالبة بين درجة حموضة التربة والنحاس الجاهز .



الشكل (2) تأثير pH التربة على جاهزية النحاس (Peech, 1941) .

لقد أشار (Trouw, 1946) إلى أن جاهزية النحاس تمل وبشكل معنوي في الظروف الشديدة الحموضة . وقد أوضح (Blevins et al. 1959) سبب ذلك من خلال تأثير التركيز العالي من أيون الألمنيوم على قدرة النبات من امتصاص النحاس . فقد لاحظوا أن زيادة تركيز أيون الألمنيوم عن 0.1 جزء في المليون أدى إلى انخفاض ملحوظ في قدرة نبات الحنطة على امتصاص النحاس (الشكل 3) . وقد يعني هذا أن ارتفاع pH التربة يؤثر سلباً على نشاط أيون النحاس في محلول التربة ولكن انخفاض pH التربة قد يؤثر أيضاً على جاهزية النحاس من خلال زيادة تركيز أيون الألمنيوم .



الشكل (3) العلاقة بين تركيز الألمنيوم في المحلول الغذائي والكمية الممتصة من النحاس من قبل محصول الحنطة.

2- تأثير كاربونات الكالسيوم

أشار العديد من الباحثين إلى أن وجود كاربونات الكالسيوم له تأثير سلبي على جاهزية النحاس. فقد أشار (Misra & Tiwari, 1966) إلى أن وجود الكلس أو إضافته إلى الترب الرملية قلل من سمية النحاس المضاف في الجرعات الاعتيادية للمبيدات الحشرية أو الفطرية. وقد أوضح (Mitchell, 1966) أن محتوى الترب الكلسية من النحاس يكون ضئيلاً حتى بوجود نسبة عالية من المادة العضوية وقد يرجع سبب ذلك إلى تأثير المادة الكلسية في رفع pH التربة وترسيب النحاس بصورة كاربونات النحاس.

تحتفظ الترب القاعدية والكلسية غالباً بصورة مترسبة من مركبات النحاس بهيئة كاربونات النحاس (CuCO_3) وهيدروكسيدات النحاس $[\text{Cu}(\text{OH})_2]$.

3- تأثير المادة العضوية

تلعب المادة العضوية دوراً كبيراً في جاهزية النحاس فقد سبق أن اشرنا في هذا الفصل إلى طبيعة التداخل بين المادة العضوية والنحاس وتأثير ذلك على جاهزية للنبات. فقد يرتبط النحاس مع مكونات الدبال ليكون معقدات ذائبة مع حوامض الفولفيك ومعقدات غير ذائبة مع حوامض الدباليك. وتتأثر جاهزية

النحاس غالباً بوجود المادة العضوية من خلال تكوين معقدات غير ذائبة . فقد اشار (Akinola, 1971) الى وجود علاقة ارتباط سالبة معنوية بين المادة العضوية ومحتوى النحاس الجاهز . وقد بين كل من (Ennis & Bogan, 1961) ان المادة العضوية تمسك النحاس بقوة . إذ ان طبيعة الارتباط تؤثر على جاهزية هذا العنصر لنبات الشوفان . وقد اشار (Mercer & Richmond, 1970) الى ان جاهزية النحاس تتأثر بوجود المادة العضوية وان معقدات النحاس العضوية ذات الوزن الجزيئي اقل من 100 تمتاز بجاهزيتها العالية للنبات مقارنة مع معقدات النحاس ذات الوزن الجزيئي العالي (اكثر من 5000) .

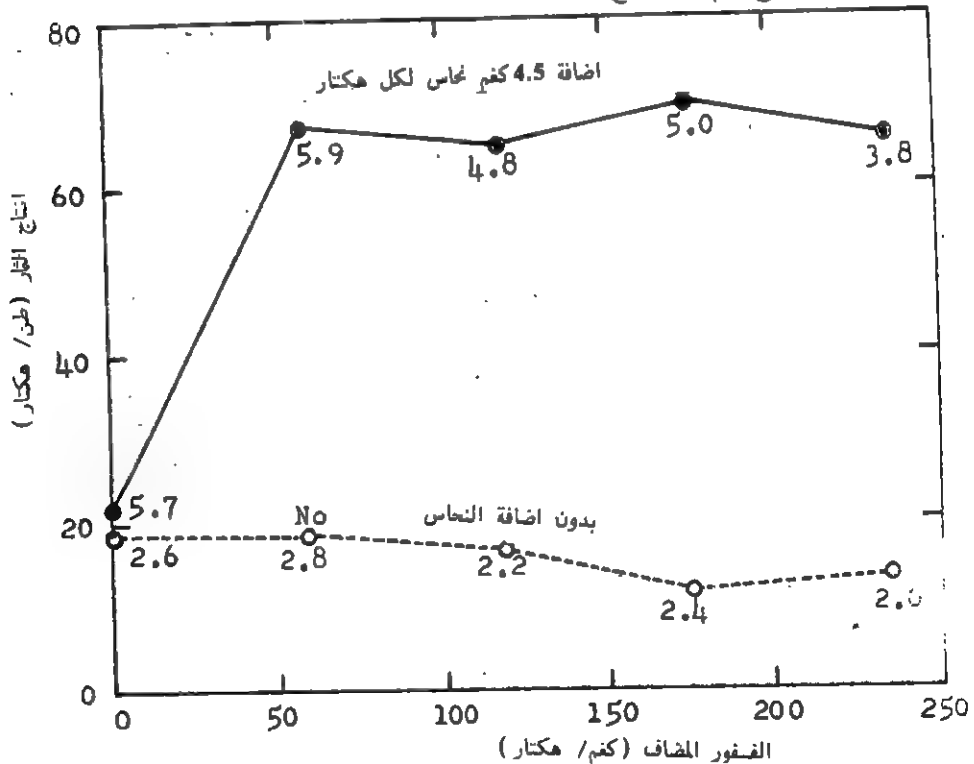
4- تأثير معادن الطين

سبق ان اوضحنا قدرة معادن الطين على امدصاص النحاس بصورة Cu^{2+} و $Cu(OH)^+$ ولا بد من ايضاح تأثير نوع وكمية معادن الطين على جاهزية النحاس . فقد استخدم (Fawzy & Hassan, 1975) معادن مختلفة هي الفيرمايكولايت والايلايت والجيسايت والبنتونايت والأتوبلكايت لدراسة امدصاص النحاس المضاف بهيئة محاليل مخففة من كبريتات النحاس . فقد اشارت النتائج الى ان امدصاص النحاس قد ازداد مع ارتفاع pH محلول الاتزان . في مابين (Mitchel, 1965) ان قدرة معدن المونتموريلونايت على امدصاص النحاس اكبر من قدرة معدن المايكا وقد يعزى سبب ذلك لظاهرة الاحلال المتماثل Isomorphous substitution في طبقة الاوكتاهدرا Octahedral layer لمعدن المونتموريلونايت بين النحاس وبقية العناصر الصغرى . ومن هنا يمكن القول ان زيادة محتوى التربة من الطين وبالأخص معدن المونتموريلونايت يؤدي الى زيادة محتوى التربة من النحاس . لذا فقد اشار (Gilbert, 1952) الى أن نقص النحاس شائع في الترب الرملية وكذلك حصل (Neelakontan & Mehta, 1961) على علاقة ارتباط موجبة بين النحاس الجاهز ونسبة الطين . بينما اكد (Mitchel, 1965) ان انخفاض محتوى الترب الكلسية بالنحاس قد يعزى ايضاً الى قلة محتوى الطين والمادة العضوية . وفي دراسة قام بها (Jammal, 1980) على السلوك الكيمياوي للنحاس في الترب العراقية وجد علاقة احصائية عالية المعنوية بين النحاس الكلي وكل من الطين ونسبة الغرين + الطين وبمعامل ارتباط $(r = 0.504^{**})$ و $(r = 0.425^{**})$ على التوالي ، وعلاقة سالبة عالية المعنوية بين محتوى التربة من النحاس ونسبة الرمل بمعامل ارتباط $(r = 40.3^{**})$.

6- تأثير التداخل الأيوني

من العناصر الغذائية التي تتداخل مع النحاس وتؤثر سلباً على جاهزيته هو عنصر الفسفور ، ويمكن القول بان اضافة الفسفور يؤدي الى نقص في كمية النحاس

المتصلة من قبل النباتات خصوصاً عند إضافة تراكيز عالية . وقد فسر (Bingham & Garbon, 1960) النقص في النحاس الى تفاعلات مباشرة بين الفسفور والنحاس ادت الى تكوين مركبات مترسبة خارج الجذر مما عرقلت قابلية الامتصاص . وقد اكد كل من (Jurinak & Inouye, 1962) تكوين تلك المركبات المترسبة بعد أن أجريا تسحيحاً لنظام يحوي على ايونات النحاس مع هايدروكسيد الصوديوم بوجود كميات مختلفة من فوسفات البوتاسيوم الثنائية الهايدروجين (KH_2PO_4) . وقد اشار (Badunur, 1972) الى ان اضافة الفسفور بمستويات مختلفة ادت الى خفض كبير في الكمية الجاهزة من النحاس . ولاحظ (Bingham) انخفاض في تركيز النحاس في اوراق الحمضيات وذلك عند اضافة مقادير مختلفة من فوسفات احادي الكالسيوم . وتؤكد نتائج التجربة التي قام بها (Locascio et al., 1968) ان اضافة مستويات مختلفة من الفسفور يؤدي الى انخفاض ملحوظ في تركيز النحاس في انسجة النبات وان اضافة النحاس يعمل على زيادة الانتاج بالمقارنة مع حجب النحاس (الشكل 4) .



الشكل (4) انتاج البطيخ المزروع في تربة رملية عوملت بمستويات مختلفة من الفسفور بهيئة سوبرفوسفات مركز عند اضافة او عدم اضافة مستوى ثابت من النحاس بهيئة كبريتات النحاس . الارقام المثبتة على خطوط الشكل تمثل تركيز النحاس في انسجة اوراق النبات الحديثة التكوين بوحدة ملغرام نحاس لكل غرام مادة جافة (Locascio et al., 1968)

إن إضافة النحاس الى التربة غالباً ما تؤدي الى عرقلة امتصاص الحديد . فقد اُشار (Brown & Holms, 1955) الى أن نقص النحاس أدى الى تراكم الحديد في نبات الذرة الصفراء .

أما تأثير الموليبدنيوم على النحاس فقد درس من قبل (Gupta & Metita, 1979) وقد لوحظ ان اضافات الموليبدنيوم تؤدي الى نقصان تركيز النحاس والمنغنيز والحديد في نبات البرسيم المزروع في تربة أحدها ملحية واخرى غير ملحية . كذلك أشار الى انخفاض نسبة Cu في البرسيم بسبب الاضافات الموليبداتية بينما تؤدي إضافة الكبريت الى رفع نسبة $\frac{Cu}{Mo}$ في النبات .

النحاس ونمو النبات

يُعتبر النحاس من العناصر الغذائية المهمة في تغذية النبات . ويعتبر (Sommer, 1931) أول من أشار الى أهميته للنبات وذلك من خلال تجاربه على محاصيل البطاطا وعباد الشمس والكتان . وفي نفس الوقت وجد كل من (Mackinney & Lipman, 1931) بأن إضافة (I) جزء في المليون نحاس أدت الى تحسين نمو الشعير بالمقارنة مع المعاملات التي حجب عنها النحاس .

يتمتص عنصر النحاس من قبل النبات بهيئة ايونية (Cu^{2+}) ويدخل هذا العنصر ضمن العديد من العمليات الفسيولوجية . فقد ذكر (Arnon, 1950) من خلال المصادر التي حصل عليها بأن عنصر النحاس يدخل ضمن عملية التركيب الضوئي وكذلك يعتبر جزءاً مكملاً لأنزيم Cytochromoxidase وقد حدد كل من (Robert, 1971, Pillai, 1966) دور النحاس في النبات بأنه يساهم في النشاط الأنزيمي وكذلك يدخل في مكونات بعض الانزيمات مثل : -

- 1- Ascorbic acid oxidase
- 2- Catachole oxidase
- 3- Laccase
- 4- Thirosinase
- 5- Monophenoloxidase

ويعتبر عنصر النحاس احد مكونات الكلوروفيل . ويعتبر عنصراً فعالاً في عمليات الأكسدة والأختزال في خلايا النبات كذلك يؤثر على تبادل الكربوهيدرات والبروتينات ويزيد مقاومة النبات ضد الامراض الفطرية (Boardman, 1975) . وقد اُشار (Hallsworth et al. 1960) الى احتياج

البكتريا المثبتة للنايتروجين الجوي الى عنصر النحاس وان تكوين العقد الجذرية تتأثر. عند وجود المستوى الواطيء من النحاس .

يتمتع عنصر النحاس بكمية قليلة من قبل مختلف المحاصيل الزراعية . لذا فان المحتوى الكلي للنحاس في انسجة النبات عادة لا تزيد عن (10) جزء في المليون . وتحتوي معظم الترب غالباً على كمية كافية من النحاس الجاهز لو أستثينا الترب الرملية والعضوية وذالك المحتوى الكلي المنخفض من النحاس وكذلك الترب الكلسية . وان اضافة النحاس لمعالجة النقص يؤدي الى زيادة الانتاج ، فقد استنتج كل من الباحثين (Scharrer & Schaumlöffel, 1960) ان اضافة سماد كبريتات النحاس ادى الى زيادة انتاجية الحبوب في محصول الشوفان (جدول 1) اذن لابد من معرفة الكمية الجاهزة من النحاس والحدود المطلوبة من قبل المحصول المزروع وكذلك اختيار افضل السبل في معالجة النقص .

جدول (1) تأثير اضافة النحاس على انتاج الشوفان المزروع في ارض تعاني من النقص لهذا العنصر .

كمية النحاس المضافة ملغم نحاس / كغم تربة	القس غم / سندان	الحبوب غم / سندان
بدون اضافة	72.6	29.6
1.2	57.0	56.7
8.3	58.4	57.7

اعراض نقص النحاس واسلوب المعالجة

لا يمكن اعتبار عنصر النحاس متحركاً داخل النبات على الرغم من انتقاله احياناً من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة.. فقد لاحظ (Loneragan, 1975) ان حركة النحاس في النبات تعتمد على محتوى النبات الكلي من هذا العنصر . ووجد ان اضافة النحاس الى نباتات الحنطة قد شجع هذا العنصر للحركة من الاوراق الى البذور في حين سلك النحاس كعنصر غير متحرك في النباتات التي تعاني من النقص . وبشكل عام فان اعراض نقص النحاس عبارة عن تحول لون قمة الاوراق الى لون ابيض . صفر في حجم الورقة . قصر النبات

وكذلك قصر المسافة بين العقد وتساقط الأزهار . وان الحد المطلوب للنحاس الذي يمثل الاحتياج الأمثل لمختلف المحاصيل يقع بين 2-20 جزءاً في المليون نحاس في المادة الجافة . وان الحد الحرج Critical level في النبات يقع بين 2.5-3.0 جزء في المليون وان الحد الحرج للكمية الجاهزة للنحاس بالتربة تقع بمحدود 0.2 جزء في المليون نحاس .

يعالج نقص النحاس بعد تقدير المحتوى الجاهز منه بالتربة وتحديد الكمية المطلوبة لنمو المحاصيل الزراعية ، بإضافة أسمدة النحاس المختلفة المعدنية أو الخيلية . ولابد لنا من التأكيد على أهمية معرفة المحتوى الجاهز المسبق لإضافة الأسمدة وذلك تجنباً للإضافات الزائدة التي تسبب السمية والضرر . فقد حدد (Henkens, 1965) ان وجود (4) جزء في المليون نحاس جاهز في التربة يكفي لنمو جيد لمحاصيل الحبوب المختلفة . وبشكل عام فان النحاس يضاف بمعدل 1-10 كغم نحاس / هكتار لمعالجة النقص في مختلف التربة . وتستخدم أسمدة النحاس المبينة في (جدول 2) الى التربة مباشرة او قد تضاف بطريقة الرش وفقاً لما موضح .

جدول (2) أسمدة النحاس والكمية المقترحة اضافتها

المادة	محتوى النحاس (%)	معدل اضافة النحاس المقترحة	
		نثراً	جوراً رش
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25	3-6	1.4-4.5
$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35	3-6	1.4-4.5
Cu_2O	89	3-6	1.1-4.5
CuO	75	3-6	1.1-4.5
Na_2CuEDTA	13	0.8-2.4	0.2-0.8
NaCu-HEDTA	9	0.8-2.4	0.2-0.8

ان لخصائص التربة وخصائص السماد دوراً هاماً في تحديد الكمية السمادية المطلوب اضافتها وطريقة الاضافة . ففي الترب الكلسية يفضل اضافة الاسمدة الخيلية لقدرتها على المحافظة على النحاس بصورة جاهزة وبعيدة عن تأثيرات الوسط . وغالباً مايفضل استخدام سماد كبريتات النحاس المائية ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ليضاف بطريقة الرش لذوبانه العالي بالماء .

3- المنغنيز Manganese

يعتبر عنصر المنغنيز من العناصر الغذائية الصغرى التي يحتاجها النبات لاكمال دورة حياته . يوجد هذا العنصر بصورة متعددة . بالتربة سنحاول دراستها مع مناقشة تأثير خصائص التربة المختلفة على صور المنغنيز في التربة وكذلك جاهزيته وامتصاصه من قبل مختلف المحاصيل الزراعية . كما سنحاول دراسة اعراض النقص واسلوب معالجته .

المنغنيز في التربة

يكون عنصر المنغنيز حوالي 0.08% من المحتوى الكلي لتركيب القشرة الارضية . وقد اشار (Goldschmidt, 1954) الى أن متوسط تركيز المنغنيز في القشرة الارضية يقع بمحدود (1000) جزء في المليون . ونظراً لوجوده في صور عديدة فهو يوجد في المعادن الاولية مثل مجموعة معادن الميكا والاوليفين . فقد بين (Mitchell, 1964) محتوى الصخور النارية من المنغنيز يقع بين (80-1820) جزء في المليون واكد انه ينتشر في مختلف المعادن الاولية المكونة للصخور . اما في الصخور الرسوبية فهو يوجد بوفرة في الحجر الكلسي limestone وفي بعض المعادن الثانوية . ولهذا فإن محتوى الترب من المنغنيز يختلف وفقاً لمحتواها من المعادن الحاوية عليه . فقد اشار (Sauchelli, 1969) الى أن محتوى بعض الترب من المنغنيز قد يصل الى 0.02% في حين كان محتوى بعض النماذج (0.01-0.13%) وقد وصل محتوى نماذج أخرى الى 15% . وقد أشار (Swaine, 1955) الى أن محتوى معظم الترب الزراعية من المنغنيز الكلي يقع بمحدود (0.02-0.3%) .

بالإضافة الى انتشار المنغنيز في معادن التربة المختلفة فإنه يوجد بصورة مركبات معدنية مختلفة بعضها يرتبط بالأكسجين والبعض الآخر بثاني اوكسيد الكربون أو بأوكسيد السيليكون كما حديدها (Krauskopf, 1972) وهي :

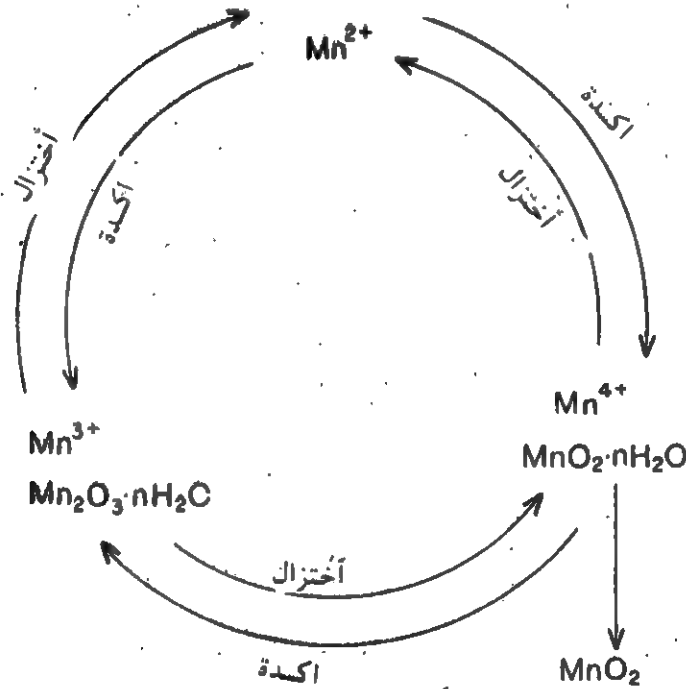
- 1- Pyrolusite MnO_2
- 2- Hausmannite Mn_3O_4
- 3- Manganite $MnOOH$
- 4- Rhodochrosite $MnCO_3$
- 5- Rhodonite $MnSiO_3$

صور المنغنيز بالتربة

يوجد المنغنيز في التربة في ثلاث حالات من الشكافؤ هي : -

1- المنغنيز الشئائي (Mn^{2+}) التكافؤ

الذي يوجد ذائباً في محلول التربة أو قد يحتل بعض مواقع الاميدصاص على سطح غرويات التربة أو يتحد مع المادة العضوية ليكون معقدات عضوية للمنغنيز . وتعتبر هذه الحالة من أهم حالات المنغنيز بالتربة لكونها الصورة المناسبة للامتصاص من قبل النبات وقد يطلق عليها بالصورة النشطة وترتبط بعلاقة توازن مع حالات التكافؤ الأخرى والتي تحكمها عمليات الأكسدة والاختزال - Oxidation-reduction processes التي أوضحها (Dion & Mann, 1946) واطلق عليها بدورة المنغنيز في التربة (الشكل 1) .



الشكل (1) دورة المنغنيز في التربة وفقاً لظروف الأكسدة والاختزال (Dion & Mann, 1946)

ويوجد بصورة نشطة جداً وعلى هيئة اوكسيد المغيز Mn_2O_3 ويشكل جزءاً حيوياً في دورة المغيز في التربة التي سبق أن أشرنا إليها .

3- المغيز الرباعي (Mn^{4+}) التكافؤ

يوجد المغيز بحالة رباعي التكافؤ بهيئة صور خاملة من اوكسيد المغيز MnO_2 وهو ايضاً يرتبط في حلقات دورة المغيز في التربة .

إن حالة التوازن بين هذه الحالات الثلاث تحدد الكمية النشطة والذائبة في محلول التربة . وتعتبر كمية المغيز الثاني التكافؤ مهمة جداً لعلاقتها المباشرة بتغذية النبات . وإن دراسة السلوك الكيماوي لهذه الصورة والعوامل التي تؤثر عليها من خلال تأثيرها على جميع عناصر الدورة يعدُّ امراً هاماً في معرفة جاهزية المغيز للنبات في مختلف التربة . ومن خلال وجود الحالات الثلاث للمغيز يمكن القول بأنه يوجد ايضاً بصورة متعددة في التربة ترتبط وبشكل اساس بالعلاقة الكيماوية والفيزيوكيماوية لحالات التكافؤ وظروف التربة .

يوجد المغيز بصورة ذائبة بمحلول التربة ، وتعتبر حالة التكافؤ الشائبة اكثر الحالات سيادة ونشاطاً . كما انها ترتبط بخصائص التربة المختلفة والتي تحدد الكمية الجاهزة منها للنبات .

كما يرتبط المغيز مع المادة العضوية ليكون صورة جديدة هي عبارة عن معقدات عضوية للمغيز . فقد اشار (Geering et al. 1969) الى أن المغيز الذائب في محلول التربة قد يرتبط مع المادة العضوية مما يساهم ذلك في خفض التركيز وتكوين معقدات قد تشكل نسبة تقع بين (39-99%) من المغيز الكلي الذائب أي بمعدل (70%) . وتساهم الاكاسيد والهيدروكسيدات في تحديد صور المغيز في التربة من خلال عملية الامصاص مما تعرقل ايضاً جاهزيته للنبات (Stumm & Morgan, 1970) .

وبهذا يمكن القول بأن المغيز يوجد في الترب بثلاث حالات تكافؤ وبصورة متعددة يمكن ايجازها بالآتي :

- (1) المغيز المعدني ، أي الجزء الداخل في تركيب المعادن المختلفة وكذلك المكون لمركبات المغيز السائدة بالتربة وتعتبر هذه الصورة غير جاهزة للنبات .
- (2) الجزء الممدص من المغيز ، بواسطة الاكاسيد الحرة وكذلك بواسطة المادة العضوية . ولا يمكن اعتبار هذا الجزء بأنه سريع الجاهزية للنبات بل يكون له التأثير السلبي على جاهزية المغيز للنبات غالباً .

(3) المنغيز الذائب في محلول التربة ، وهذه الصورة تمثل الكمية البسيطة من المحتوى الكلي للمنغيز بالتربة .

إن جميع الصور المذكورة وكذلك حالات التكافؤ تتأثر بعوامل عديدة سنحاول مناقشتها لبيان العلاقة بين السلوك الكيميائي للمنغيز بالتربة وجاهزيته للنبات .

العوامل التي تؤثر على جاهزية المنغيز

1- درجة حموضة التربة (Soil pH)

إن ارتفاع pH التربة يقلل من صلاحية المنغيز إذ يزيد حالة الأكسدة . فعند pH أعلى من 8 فإن المنغيز الرباعي هو الأكثر سيادة . وتنبود الصورة الثلاثية التكافؤ عند pH مساوياً إلى 7 ، أما في الـ pH الحامضي فإن الصورة الثنائية هي الأكثر سيادة . وهذا يعني إن جاهزية المنغيز في الترب الحامضية عالية جداً وذلك بسبب زيادة ذوبان مركبات المنغيز المختلفة في الظروف الحامضية . وقد أوضح (Lindsay, 1972) إن المنغيز الذائب (Mn^{2+}) يقل تركيزه بمعدل 100 مرة عند رفع قيمة الـ pH وحدة واحدة وأن المعادلة التي تصف هذه العلاقة هي :



LogK = - 0.92 الصورة الأكثر استقراراً وثباتاً في التربة

وبعد افتراض أن ضغط الأوكسجين يساوي 0.20 ضغط جوي فإن تركيز المنغيز عند (pH = 6) سيساوي :

$$[Mn^{2+}] = 10^{-13} \text{ مول / لتر}$$

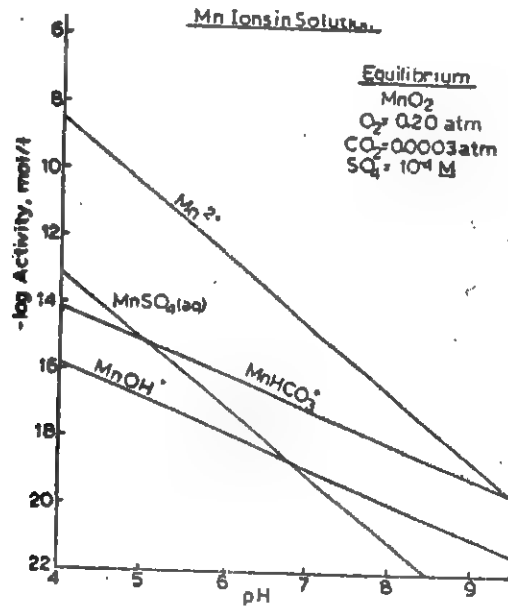
في حين سيساوي تركيز المنغيز عند (pH = 7) مع ثبات ضغط الأوكسجين الآتي

$$[Mn^{2+}] = 10^{-15} \text{ مول / لتر}$$

وهذا يؤكد انخفاض التركيز بما يعادل 100 مرة عند رفع قيمة الـ pH وحدة واحدة وقد اشار (Mengel & Kirkby, 1982) الى أن كمية المنغيز الجاهزة في الترب القاعدية التفاعل قليلة جداً ولا تكفي لسد احتياجات النبات . ولـ pH التربة تأثير على طبيعة التداخل بين المادة العضوية والمنغيز فقد اكدت النتائج التي حصل عليها (Page, 1962) أن ارتفاع pH التربة يشجع تكوين المعقدات العضوية

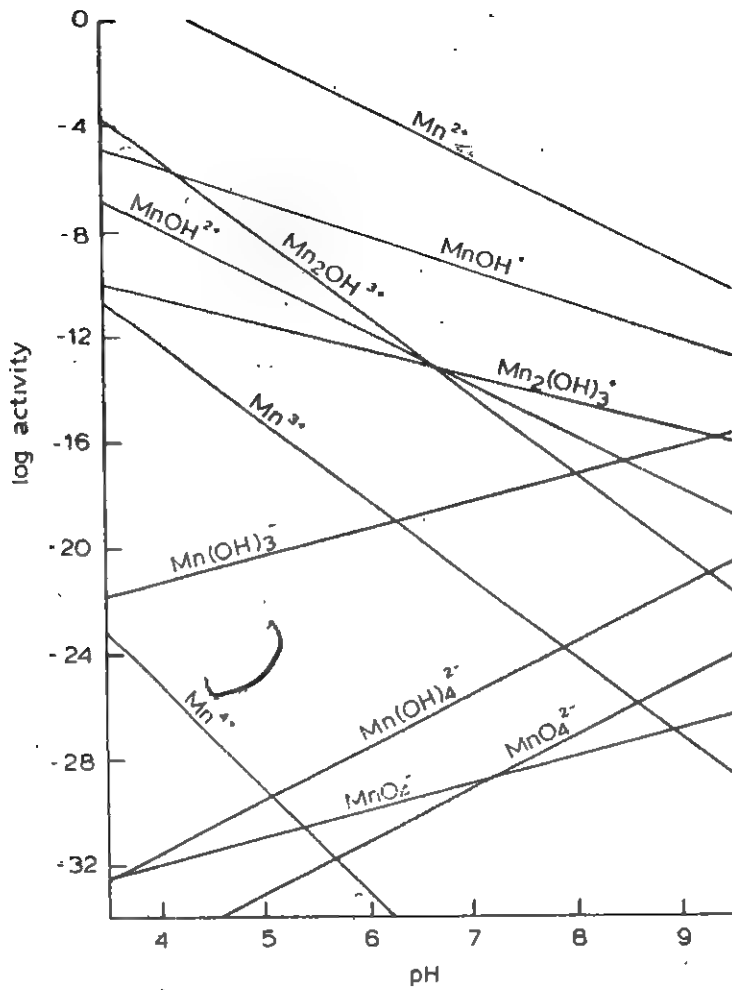
بمستوى معين من النشاط. إن ارتفاع pH التربة له تأثير كبير في خفض تركيز صورة المنغيز الثنائية الذائبة والمتبادلة (جاهزية المنغيز). وتتأثر أيضاً صور الازدواج الأيوني المختلفة للمنغيز مع تغير pH التربة (الشكل 2). وهذا يعني انخفاض التركيز الكلي للمنغيز الذائب في محلول التربة مع ارتفاع pH التربة وليس فقط تركيز الصورة الأيونية الحرة $[Mn^{2+}]$. وكذلك فإن اذابة مركبات المنغيز الثنائية والثلاثية والرابعة

أذن ارتفاع pH التربة له تأثير كبير في خفض تركيز صورة المنغيز الثنائية الذائبة والمتبادلة (جاهزية المنغيز). وتتأثر أيضاً صور الازدواج الأيوني المختلفة للمنغيز مع تغير pH التربة (الشكل 2). وهذا يعني انخفاض التركيز الكلي للمنغيز الذائب في محلول التربة مع ارتفاع pH التربة وليس فقط تركيز الصورة الأيونية الحرة $[Mn^{2+}]$. وكذلك فإن اذابة مركبات المنغيز الثنائية والثلاثية والرابعة



الشكل (2) العلاقة بين نشاط الصور الأيونية المختلفة من المنغيز و pH الوسط.

تتأثر بقيمة pH التربة. كما يوضح ذلك الشكل (3). عموماً فإن مركبات المنغيز الثنائية أكثر ذوباناً وقدرة على تحرر المنغيز الثنائي بالمقارنة مع المركبات الأخرى وفي جميع قيم pH ، وإن ذوبان جميع مركبات المنغيز في الوسط الحامضي أعلى من الوسط القاعدي. إن أفضل مدى pH لجاهزية المنغيز يقع بحدود (5-6.0) وتقل أو تكاد تنعدم الجاهزية عند pH أعلى من 7.5. فقد وجد (Gisiger & Hasler, 1949) إن إضافة الكلس للتربة الحامضية يؤدي إلى خفض جاهزية المنغيز.



الشكل (3) العلاقة بين pH الوسط وتركيز صور المنغيز في الوسط

2- تأثير تفاعلات الأكسدة والاختزال

تتأثر جاهزية المنغيز بوفرة الإوكسجين أو غيابه وكذلك النشاط الالكتروني. ويعتبر المركب MnO_2 (Pyrolusite) أكثر المركبات ثباتاً واستقراراً في ظروف الأكسدة القوية. أي انه السائد عند قيمة $\text{pe} + \text{pH}$ تساوي 20.61. ولكن انخفاض قيمة $\text{pe} + \text{pH}$ يؤدي الى انخفاض في معدل ترسيب هذا المركب أي بمعنى زيادة اذابته. وقد تنطبق الحال على المركبات MnOOH (manganite) و Mn_3O_4 (hausmannite) في أن انخفاض قيمة $\text{pe} + \text{pH}$ يؤدي الى زيادة كمية المنغيز المتحررة من هذه المركبات (الشكل - 4).

المتصة من قبل-أحد أصناف الحشائش قد أنخفضت بشكل معنوي مع زيادة محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم . وقد وجد (El-Leboucli et al. 1971) علاقة احصائية سالبة بين جميع صور المنغنيز بالتربة ومحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم . وحديثاً درس (El-Sherif et al, 1983) العلاقة بين محتوى التربة من صور المنغنيز المتبادلة exchangeable ، الذائبة Water soluble والمستخلص الكلي (الجدول 1) ومحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم إذ وجدوا الانخفاض المعنوي في محتوى التربة من صور المنغنيز مع زيادة محتوى كاربونات الكالسيوم .

جدول (1) تأثير محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم على محتوى التربة من صور المنغنيز المختلفة .

بوحدرة جزء في المليون			
محتوى كاربونات الكالسيوم (%)	المنغنيز الذائب	المنغنيز المتبادل	المستخلص الكلي من المنغنيز
21.5	0.33	3.00	30.08
29.1	0.17	2.84	22.12
35.7	0.45	1.84	19.87
46.2	0.27	1.78	15.40

وقد أكد (Boiscliot & Durraux, 1949) ان امدصاص المنغنيز من قبل سطح كاربونات الكالسيوم يعتبر العامل المحدد لجاهزيته بالاضافة الى تأثير ارتفاع pH التربة . وقد أيده في الرأي كل من (El-Sherif et al. 1983) .

4- تأثير المادة العضوية

تتأثر جاهزية عنصر المنغنيز للنبات بمحتوى التربة من المادة العضوية . فقد أشار (Tisdale & Nelson, 1975) الى ان وجود المادة العضوية في الترب الحامضية يؤدي الى ظهور اعراض نقص المنغنيز بالمقارنة مع انخفاض محتوى التربة منها ويرجع سبب ذلك الى تكوين معقدات عضوية غير ذائبة insoluble organic complexes مع المنغنيز الثنائي مما يؤدي الى عرقلة جاهزيته للنبات . وقد درس (Sanchez et al. 1959) تأثير اضافة المادة العضوية على الكمية المستخلصة عن المنغنيز بواسطة خلاات الامونيوم ammonium acetate عند

إضافة الكلس أو عند عدم اضافته أيضاً إن إضافة المادة العضوية أدت الى خفض كمية النغنيز المستخلصة من النغنيز عند عدم إضافة الكلس (جدول 2). وقد أشار كل من (Velez Ramos & Standifer, 1978) و (Khan, & Ryan, 1978) و (El-Sherif et al. 1983) وجود علاقة احصائية موجبة بين جاهزية النغنيز ومحتوى التربة من المادة العضوية. أن زيادة محتوى التربة من المادة العضوية يساعد على زيادة جاهزية النغنيز وهذا بالطبع مرتبط مع طبيعة المادة العضوية. إذ يكون النغنيز الثنائي مع حوامض الدباليك معقدات غير ذائبة في حين يكون مع حوامض الفولفيك معقدات ذائبة تساهم في زيادة جاهزيته للنبات.

جدول (2) تأثير اضافة المادة العضوية على الكمية المستخلصة من النغنيز عند اضافة الكلس أو عند عدم اضافته في تربة مزيجية رملية بعد ثلاث اسابيع من الحضان.

الكمية المستخلصة من النغنيز (جزء في المليون) بدون اضافة اضافة الكلس الكلس		المعاملة
64.8	48.0	54 جزء في المليون نغنيز
50.6	50.2	54 جزء في المليون نغنيز + 2% مادة عضوية
39.0	50.0	54 جزء في المليون نغنيز + 4% مادة عضوية
32.4	53.9	54 جزء في المليون نغنيز + 10% مادة عضوية

5- تأثير لنشاط احياء التربة

تلعب الاحياء الدقيقة في التربة دوراً هاماً في تغير حالات النغنيز ويعتقد انها تؤدي الى اكسدة النغنيز الثنائي مما يؤدي ذلك الى قلة جاهزيتها بالاضافة لتثبيت النغنيز في اجسامها. فقد أوضح (Gerretsen, 1937) و (Leeper & Swaby, 1940) الى قدرة الاحياء الدقيقة على اكسدة النغنيز الثنائي. في حين اشار (Bromfield & Skerman, 1950) الى ان تأثير احياء التربة الدقيقة غير مباشر اذ تعمل على رفع pH التربة مما يشجع ذلك على عملية أكسدة النغنيز الثنائي وترسيبه على هيئة اوكسيد النغنيز.

6- تأثير التداخل الايوني

جدول (3) يبين تأثير نوع السماد النيتروجيني وكميته على تركيز المنغيز في اوراق محصولي الشعير والشفوفان والانتاج الكلي .

۲۰۰

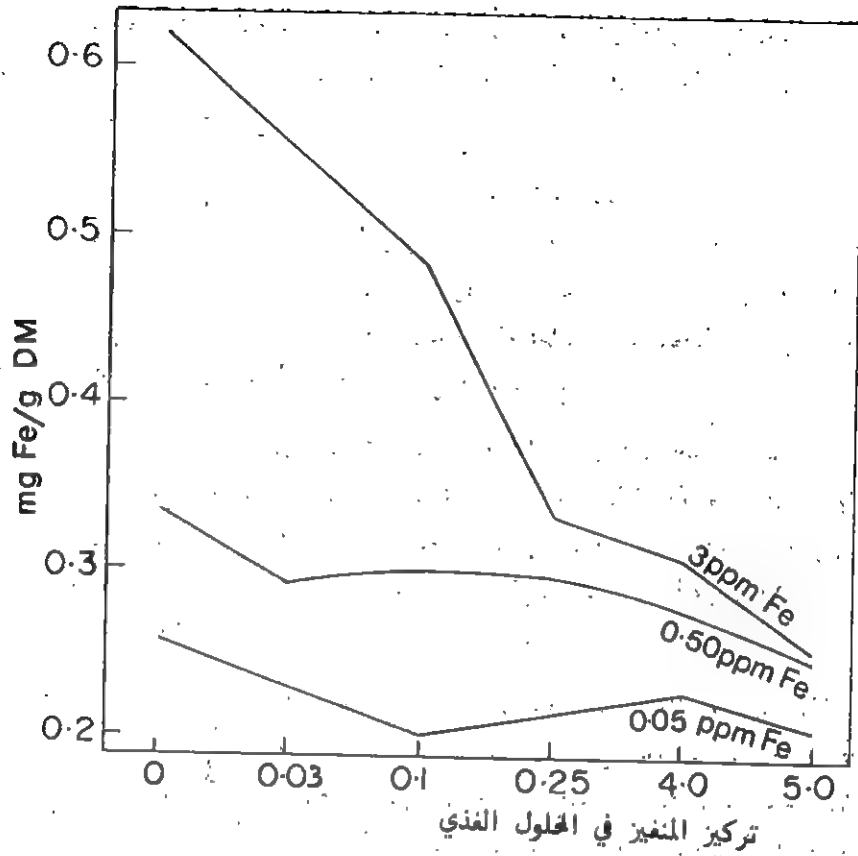
ان تأثير سداد كبريتات الامونيوم يكون فقط عند الاضافة بجور مع سداد كبريتات المنغيز وان اضافة الاسمدة بطريقة النثر قد فشلت في زيادة محتوى الاوراق بالمنغيز وكذلك الانتاج .

وفي دراسة قام بها كل من (Jackson & Carter, 1976) في تربة كلسية وجدا أن اضافة سداد كبريتات الامونيوم وسداد فوسفات احادي الكالسيوم (السوبرفوسفات) بطريقة الجور ادى الى زيادة تركيز المنغيز في اوراق ودرنات البطاطا اكثر مما ساهمت به طريقة الاضافة السطحية . كما توصل (Voth & Christenson, 1980) لنفس الاستنتاج .

في حين اشار (Sideris & Young, 1949) الى ان تجهيز النبات بأيون الامونيوم يعمل على تقليل الكمية المتصة من المنغيز بالمقارنة مع تجهيزه بأيون النترات . وقد يعزى سبب ذلك الى تأثير مصادر النايروجين على التوازن بين الكايتون - والانيون خلال عملية الامتصاص وليس بسبب حالة التنافس الايوني بين Mn^{2+} و NH_4^+ .

لقد لاحظ (Maas et al. 1969) أن ايون المغنيسيوم يقلل من قدرة النبات على امتصاص المنغيز . في حين اشارت نتائج الدراسة التي قام بها كل من (1942) Somers & Shive, بان اضافة المنغيز يعرقل امتصاص الحديد بواسطة نباتات الباقلاء وان تأثير عنصر المنغيز اكبر عند اضافة الحديد بمستوى (3) جزء في المليون (الشكل 4) . ويمكن الاستنتاج ان اضافة الحديد للتربة بهيئة ايونات حديدوز تؤدي الى اختزال المنغيز الثلاثي او الرباعي الى ثنائي وبالتالي يزداد امتصاص المنغيز ويقل امتصاص الحديد لذا فقد ظهرت اعراض نقص الحديد على نباتات الباقلاء .

ان اضافة ايون الكلوريد تؤدي غالباً الى زيادة جاهزية وامتصاص المنغيز . فقد اشار (Jackson et al, 1966) الى ان اضافة الكلوريد بهيئة كلوريد البوتاسيوم او كلوريد الكالسيوم ادى الى زيادة تركيز المنغيز في اوراق نباتات الباقلاء والذرة الصفراء المزروعة في الترب الحامضية . في حين وجد (Westermann et al. 1971) ان اضافة KCl ادت الى زيادة الكمية المستخلصة من المنغيز للحدود اكبر مما فعله K_2SO_4 . وقد يعزى سبب ذلك الى مشاركة ايون الكلوريد في حلقة تفاعلات الاكسدة والاختزال الخاصة بعنصر المنغيز .



الشكل (4) تأثير زيادة تركيز المنغنيز في المحلول الغذائي على محتوى الحديد في أنسجة نباتات الباقلاء عند إضافة مستويات مختلفة من الحديد .

المنغنيز ونمو النبات

تمتص النباتات المنغنيز ببيئة أيون ثنائي التكافؤ (Mn^{2+}) ثم يساهم في عدد من العمليات الفسيولوجية التي تعمل على زيادة الانتاج الزراعي وتحسينه لمختلف المحاصيل . يشترك عنصر المنغنيز في تكوين بعض الانزيمات ، وللمنغنيز دور هام في تفاعلات الاكسدة والاختزال وبالأخص تلك التي ترتبط بعملية التركيب الضوئي . ولهذا فان نقص عنصر المنغنيز يؤثر على تركيب الكلوروفيل ويعمل على تقليل حجم الخلية ويؤثر أيضاً على تركيب الجدار الخلوي .

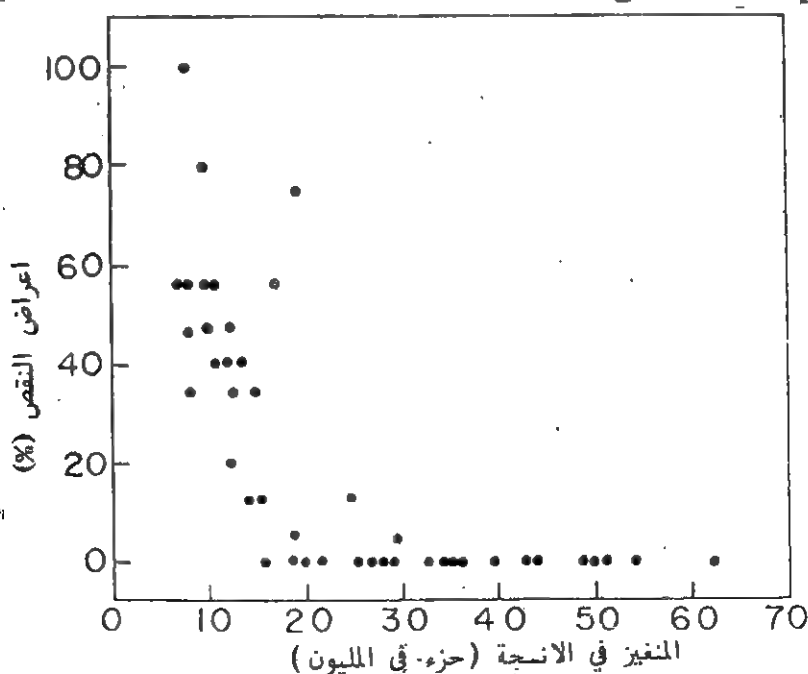
ان احتياج معظم المحاصيل الزراعية من المنغنيز قليل وقد يقع بمحدود من 500 الى 1000 غم /Mn هكتار حسب ما أورده (Schachtschabel, 1955) . وتكون جاهزية المنغنيز غالباً في الترب الكلسية والعضوية والقلوية واطئة جداً ويستلزم

معالجتها بإضافة أسمدة المنغنيز المختلفة . في حين تمتاز الترب الحامضية بمحتواها العالي من المنغنيز الجاهز ، وقد يفوق محتوى هذه الترب الاحتياجات المطلوبة مساهمًا في تكوين حالة السمية toxicity . فقد أشار (Foy, 1976) إلى أن محتوى الترب ذات الـ pH من 5.0 إلى 5.5 عال جداً وأن تركيز المنغنيز الذائب قد يفوق الاحتياجات المطلوبة للنباتات .

اعراض نقص المنغنيز واسلوب المعالجة

يعتبر عنصر المنغنيز بأنه غير متحرك داخل أنسجة النبات لذا فإن أعراض نقصه تظهر في الأوراق الحديثة التكوين وهي عبارة عن بقع صفراء . وهي تشابه أعراض نقص المغنيسيوم التي تظهر في الأوراق القديمة . وتعتبر البلاستيدات الخضراء أكثر أجزاء النبات تحسناً بنقص المنغنيز . كما يساهم نقص المنغنيز في التأثير على حجم الخلية وتركيب الجدار الخلوي .

أن الحد الحرج لمستوى المنغنيز في النبات يقع في حدود (12-25) جزء في المليون وأن الشكل (5) يبين العلاقة بين شدة نقص المنغنيز ومحتوى أنسجة نبات البنجر السكري . كما أن تجاوز تركيز المنغنيز في أنسجة النباتات المختلفة حدود (160) جزء في المليون حسب رأي (Ohki, 1977) يعني الوصول إلى حالة السمية التي هي عبارة عن بقع بنية تظهر على الأوراق القديمة .



الشكل (5) العلاقة بين شدة نقص المنغنيز ومحتوى أنسجة نباتات البنجر السكري من المنغنيز (Farley & Draycott, 1973)

يعالج نقص المنغنيز باضافة الأسمدة المختلفة (جدول 4) اما الى التربة مباشرة مع اختيار افضل طريقة اضافة واما قد يرش السماد على النباتات كمعالجة سريعة للنقص السائد . ولا بد من القول بان لخصائص التربة والسماد الكيماوية والفيزيائية دوراً هاماً في تحديد ذلك . فقد لاحظ (Randall & Schulte, 1971) ان اضافة 5.6 كغم منغنيز لكل هكتار بطريقة الجور اعطت نتائج تكافئ اضافة 67.2 كغم منغنيز لكل هكتار بطريقة النثر السطحي وقد أضيف سماد كبريتات المنغنيز في الحالتين كليهما ان الاضافة السطحية قد ساهمت بأكسدة المنغنيز المضاف بسرعة . ولهذا فان الاسمدة الخلبية قد تفضل في معظم الاحيان على الاسمدة المعدنية وبالأخص في الترب الكلسية وان عدم توفر الاسمدة الخلبية قد يدفعنا الى اختيار طريقة الرش بدلاً من الاضافة المباشرة للتربة عند اختيار الاسمدة المعدنية .

جدول (4) اسمدة المنغنيز المختلفة والمستويات المقترح إضافتها

السماد	محتوى Mn (%)	المستوى المقترح اضافته		
		النثر	الجور	الرش
$MnSO_4 \cdot 3H_2O$	26-28	22-130	6-11	3-4
MnO	41-68	48	11	4-6
$Mn-EDTA$	12	-	-	0.1-0.5
MnO_2	63	-	-	-
$MnCl_2$	17	-	-	-
$MnCO_3$	31	-	-	-

لقد اشار (Rumpel et al, 1967) الى ان بعض الاسمدة الخلبية ليس لها تأثير فعال في زيادة الانتاج اذ وجدوا ان اضافة 1.1 كغم Mn لكل هكتار . بيئة Mn-EDTA بطريقة الجور مع السماد المركب NPK (5x 10: 20) ادى خفض انتاج فول الصويا والبصل . وقد توصل (Randall & Schulte, 1971) لنفس الاستنتاج عند استخدام السماد Mn-EDTA . وقد يعزى سبب ذلك الى سرعة تحلل المنغنيز من السماد المذكور وبذلك يترسب بيئة مركبات غير جاهزة . وقد اعتبر (Ozaki, 1955) سماد كبريتات المنغنيز من اكثر الاسمدة المعدنية كفاءة وبالأخص عندما يضاف بطريقة الرش . واكد (Henkens, 1965) ان الكمية (100-200) كغم Mn لكل هكتار تمثل المستوى المفضل اضافته بطريقة النثر الى الترب التي تعاني من النقص وبالطبع فان الترب الكلسية تحتاج الى المستوى الاعلى من السماد المضاف . في حين اشار (Mengel & Krikbye, 1982) الى ان اضافة (1-5) كغم Mn لكل هكتار بطريقة الرش يعتبر جداً كافياً لمعالجة نقص المنغنيز في معظم المحاصيل الزراعية وقد تضاف هذه الكمية بمعدل مرتين الى اربع مرات خلال الفترة الاولى من موسم النمو .

قائمة المصادر

- 1- Agrawal, H.P. and Motiramant D.P. (1966) Copper Status in Soil, of Madhya Pradesh J. Indian. Soil Sci. 19 (3) 161-171.
- 2- Akinola, A. Agboola and R.B. Corey (1971) Soil Sci. 115. 367-375.
- 3- Alexander, Martin. (1977) Introduction to Soil Microbiology. 2 nd edn. P. 385-389.
- 4- Allen, S.E. and Terman. G.L. (1966) Soil Chemistry and Fertility. Int SOC. Soil Sci.
- 5- Anderson, W.B. (1964) . Diss. Abstr. 25, 3193.
- 6- Atlavina, S.A. (1965). Turkman SSR BIOI. Naul, 5: 53-59.
- 7- Awad. K.M. (1984) ZANCO 2: 85-97.
- 8- Bear, F.E. (1965) . Chemistry of the Soil. 2nd. Edition, Chapter 8.
- 9- Bingham, F.T., Page, A.L., and Sims, J.R. (1964) Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 28: 351-354.
- 10- Bingham, F.T. and Garben, M.J. (1960) Soil Sci. Am. Proc. 24: 209-213.
- 11- Black, C.A. (1965) Methods of Soil analysis. part 2. Agron. Amer. SOC. Agron. Medison. Wis.
- 12- Blevins, R.L. and Massay, H.F. (1959) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23, 296.
- 13- Boawn, L.C., Viets, F.G., Jr., and Crawford, C.L. (1957) Soil Sci. 83: 219-227.
- 14- Brown. J.V. Holmes. R.S. and Specht; A.W. (1955). Plant Physiol 30: 457-62.
- 15- Brown. A.L. and Karntz .B.A. (1966). Soil Sci. Amer. Proc. 30: 86-89.
- 16- Burleson, C.A., Dacus, A.D. and Gerard, C.D. (1961). Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25: 365-368.

- 17- Chanler, W.H., D.R. Hoogland and P.L. Hissard (1932)
Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 29: 255-263.
- 18- Chapman, H.D. (1966) Diagnostic Criteria for plants and
Soils. pp. 484-499.
- 19- Chaudhry, F.M. and Loneragan, J.F. (1972) J. Exp Bot.
- 20- De Mumbrun, L.E. and Jackson M.L (1956). Soil Sci. Soc.
Amer. Proc. 20: 334-337.
- 21- El-Gabaly, M.M. (1950). Soil Sci. 69: 167-174.
- 22- El-Gabaly, M.M. and Jenny, H. (1943). Soil Sci. Soc. 55:
257-263.
- 23- El-Gabaly, M.M. and Jenny, H. (1943). J. Phys. Chem. 47:
399-408.
- 24- Follett R.H., and Lindsay, W.L. (1970) Colo., Agn. Exp.
Sta. Tech. Bull. 110.
- 25- Gilbert, F.A. (1952). Copper in nutrition. Advance Agron.
4: 147-77.
- 26- Gladstones, J.S. and Loneragan. J.F. (1967). Aust. J. Agr.
Res. 18: 427-446.
- 27- Goldschmidt, V.M. (1959). Geochemistry.
- 28- Gupta, V.P. and Mehla, D.S. (1979). Plant and Soil 51:
597-602.
- 29- Haq, A.U. and Miller, M.H. (1972). Agron. J. 64:
779-782.
- 30- Hodgson, J.F. (1960). Adv. Agron. 15: 119-159.
- 31- Hodgson, J.F., Lindsay, W.L., and Triewiller, J.F. (1966)
Soil Sci. Soc Amer., Proc. 30: 327-726.
- 32- Hodgson, J.F. Lindsay, W.L. and Triewiller, J.F. (1969).
Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 30: 665-669.
- 33- Jurinak, J.J. and Bauer, N. (1956). Soil Sci. Soc. Amer.,
Proc. 20: 466-471.
- 34- Jurinak, J.J. and Inaugh T.S. (1962). Soil Sci. Soc. Amer.,
Proc. 26: 144-147.

- 35- Krauskopf, K.B. (1972). Soil Sci. Soc Amer., Madison, Wisconsin PP. 2-70.
- 36- Lindsay, W.L. (1972) Soil Sci. Soc. Amer. Madison, Wisconsin PP. 41-57.
- 37- Lindsay, W.L. (1979). Chemical Equilibria in Soils
- 38- Lindsay, W.L. and Norvell, W.A. (1969). Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 33: 62-68.
- 39- Lucas, R.E. (1945). Soil Sci. Soc. Amer., Proc.10: 269-274.
- 40- Mc Bride. M.B. (1978) Soil Soc. Amer., J., 42: 27-31.
- 41- Mengel, K. and Kirkby, E.A (1982). Principles of Plant nutrition. 3rd edn. Bern.
- 42- Menzel, R.G. and M.L. Jackson. (1951). Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 15: 122-124.
- 43- Millikan, C.R., Hanger, B.C and Bjarnson. E.N. (1968). Aust. J. Boil. Sci. 21: 619-640.
- 44- Mistra. S.G. and Tiwar, R.G. (1966). Soil Sci. Plant Nutn. 12: 6-10.
- 45- Neelakontan, V and Methar, (1961). Copper Status of Soils of Western India Soil Sci. 91: 251-256.
- 46- Orabic A.A., Abdallah. A. Mashadi. H. and Barakat. A.H. (1981). Plant and Soil. 59: 51-59.
- 47- Ozaki, L.G. (1955). Am. Soc. Hort. Proc., 66: 313-316.
- 48- Page, E.R. (1962). Plant and Soil. 16-247.
- 49- Pillai, K.M. (1960). Crop Nutrition. New delhy.
- 50- Randall, G. Wand Schulte. E.E. (1971). Proc. Wisc Fert. and Aglime Conf., 10: 4-10.
- 51- Randhawa, N.S. and F.E. Br Broadbent. (1978) Soil Sci 99: 295-300.
- 52- Riceman, M. Devlin (1971) Plant Physiology. Second Edition.

- 53- Rumpel, J.A. Kozakiewicz, B. ELLIS, G. Lessman and J. Davis (1967). Quarterly Bull. Mich. Agric. Exp. Sta., 50- 4-11
- 54- Saeed .M. (1977) Plant and Soil. 48: 641-469.
- 55- Sanchez, Z.C., and Kamprath, E.J. (1959). SSSA. Proc. 23: 302.
- 56- Sharma, B.M. and Deb, D.L (1973) J. Indian. Soc. Soil Sci. Vol. 22 (2): 145-150.
- 57- Shukla, U.C. and Raj H. (1980) Plant and Soil. 57: 322-333.
- 58- Sommer, A.L. (1931) Copper as an essential to Plant growth. Plant Physiology.
- 59- Stanchev, L., Gyurov, G. and Mashev, V. (1962) Trace elements in Soil.
- 60- Stevenson, W. and Morgan, J.J. (1972). Soil Sci. Soc. Amer. Proc.
- 61- Stumm, W. and Morgan, J.J. (1970) Aquatic Chemistry.
- 62- Swaine, D.J. (1955). Bur. Soil Sci. (Gt-Brit), Tech, Commun. No. 48
- 63- Thorne, D.W., Lawas W.D. and Wallace, A. (1942) Soil Sci. 54: 463-468.
- 64- Tisdal, S.L. and Nelson, L. L.W. (1975) Soil Sertility and Fertilizers.
- 65- Troug, E. (1964). Soil Sci. Soc. Amer., Proc. 1946.
- 66- Udo, E.J. and Bohn, H.L. and Tucker, T.C. (1970) Soil Sci Soc. Amer., Proc. 34: 405-407.
- 67- Vinade, R., Kenzek, B., Davis, J.F., Doll, E. and Melton, J. (1968). Mich., Agr. Exp. Sta. Quart. Bull. 50: 625-636.
- 68- Wallaca, A., Elgazzar. A.A. Cha, J.W. and Alexander, G.V. Soil Sci. 117: 347-351.
- 69- Wiklander, L. (1953). Springer verlage Berlin 4: 162-163.
- 70- Zavar Zin, G.A. and Hirsch (1974). Bergey's Monual of Determinative Bacteriology. 8th. edn. pp. 163-165.

الفصل السابع

الحديد - البورون - الموليبدنيوم

1- الحديد Iron

يعتبر عنصر الحديد من العناصر الغذائية الضرورية لنمو النبات . وقد صنف ضمن العناصر الغذائية الصغرى بسبب قلة احتياج النبات اليه على الرغم من اهميته . يوجد الحديد في كل اجسام النباتات والحيوانات وايضاً في الترب على شكل مركبات عضوية مختلفة التي من خلال تحليلها بفعل العمليات البايولوجية ليتحرر الحديد بصورة جاهزة أو غير جاهزة [واهمية الحديد للنبات ترجع الى انه يدخل في تركيب إنزيمات التنفس وهذا فإن لعنصر الحديد دوراً مباشراً في عمليات التنفس في النبات وهو قادر على ان يقوم بدور ناقل الاليكترونات في الانظمة الانزيمية التي تتم فيها تفاعلات الاكسدة والاختزال في النبات التي لها دور مؤثر على الانتاجية .]

الحديد في التربة

يوجد عنصر الحديد بالقشرة الارضية بهيئة اوكسيدات ، هايدروكسيدات وفوسفات وكذلك يوجد في التراكيب البنائية للمعادن الاولى ومعادن الطين الثانوية . ويكون الحديد نسبة عالية من مكونات القشرة الارضية المعدنية تصل الى 5% ولهذا فإنه يعتبر رابع عنصر من حيث الوفرة في القشرة الارضية بعد الاوكسجين والسيليكون والالمنيوم . وقد يرتبط الحديد مع المعادن الاولى المكونة للصخور الرسوبية والنارية والمتحولة . لذا تعتبر معادن التربة المختلفة وكذلك بعض المركبات الحاوية على الحديد المصدر المجهز للتربة بعد تحرر كمية منه خلال عمليات التجوية لمعادن التربة .

واهم المعادن السائدة والمركبات الحاوية على عنصر الحديد هي :
الألوفان $\text{Olivine (Mg, Fe)}_2\text{SiO}_3$ ، البيرايت Pyrite (FeS) ، السدرايت
 $\text{Siderite (FeCO}_3\text{)}$ ، الهيماتيت $\text{Haematite (Fe}_2\text{O}_3\text{)}$ ، الجويثايت
 Goethite (FeOOH) ، المغنتايت $\text{Magnetite (Fe}_3\text{O}_4\text{)}$.

لذا فإن المحتوى الكلي للترب من الحديد يختلف وفقاً لانتشار المعادن والمركبات
الحاوية على هذا العنصر كما أن لخصائص التربة المختلفة تأثيراً على المحتوى الكلي
للتربة . فقد لاحظ (Tayel, 1964) إن محتوى الترب الرسوبية من الحديد الكلي
يتراوح بين 1-7% ، وإن الترب المحتوية على أكثر من 7% CaCO_3 يكون محتواها
من الحديد الكلي لا يزيد عن 2.6% ، بينما الترب التي تحتوي على أكثر من 70%
كاربونات كالسيوم يكون الحديد الكلي فيها أقل من 0.6% . أما (Sauchelli, 1969)
فقد أشار إلى أن الحديد من العناصر الأكثر وفرة بالمقارنة مع بقية
العناصر الغذائية الصغرى بالتربة ، إذ تتراوح الكمية الكلية منه في الترب بين
(0.5-5%) . وقد بين (McConnell, 1922) بأن محتوى الحديد لترب رملية كان
2.38% وحوالي 4.4% للترب الدبالية . في حين أكد (Bear, 1929) أن محتوى
الترب الرملية أقل من محتوى الترب الطينية . وفي دراسة على نماذج من الترب
العراقية قام بها (زيدون ، 1981) وجد أن محتوى الحديد الكلي كان بمعدل 3.45,
4.81, 4.69, 4.53, 3.64% حديد للترب المستعملة وهي مزيجية طينية ، مزيجية
طينية غرينية ، مزيجية رملية ، طينية ، طينية على التوالي . ووجد (Jadhav
and Malewar, 1980) في دراستهم على ترب مختلفة النسجة وعالية المحتوى
بكاربونات الكالسيوم إن المحتوى الكلي يتراوح بين 5.12-7.88% .

صور الحديد في التربة

يوجد الحديد بالتربة بصور متعددة وهي : الصور الذائبة ، والحديد المتبادل
وغير المتبادل الذي يشمل صور الحديد المعدني والترسبة بهيئة مركبات حديد .

إن محتوى محلول التربة من الحديد الذائب Soluble-Fe قليل جداً بالمقارنة
مع المحتوى الكلي في أي تربة . ويوجد الحديد بمحلول التربة إما بهيئة صور معدنية
ذائبة $\text{Soluble inorganic forms}$ والتي تشمل Fe^{3+} , Fe(OH)_2^+ , FeOH^{+2} , Fe^{+2} . وأما بهيئة صور عضوية ذائبة أي معقدات الحديد العضوية
 $\text{Fe-organic complexes}$ الذائبة التي يعتمد وجودها على محتوى التربة من
المادة العضوية .

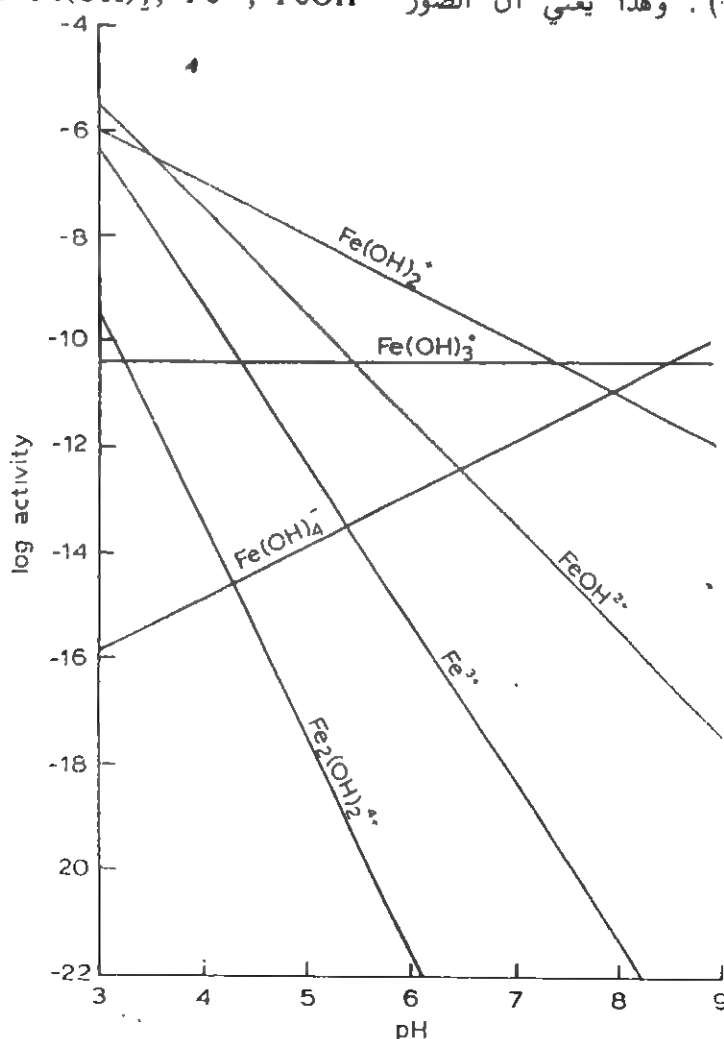
إن سيادة إحدى صور الحديد المعدنية الذائبة يعتمد على ظروف التهوية
بالتربة وكذلك pH التربة . ففي الترب الجيدة التهوية يكون محتوى محلول التربة من

صورة الحديدوز (Ferrous (Fe^{+2}) قليلا او معدما وتكون السيادة لايون الحديدك وصوره المائية بالأخص عندما يكون pH التربة قاعدي التفاعل . وقد اشار (Lindsay, 1979) الى سيادة ايون الحديدك وصوره المائية hydrolysis species في مختلف الظروف بسبب كون مركب هايدروكسيد الحديدك هو المركب المسيطر على اذابة الحديد بالتربة ومنه يمكن أن تتكون صور الحديد الأخرى وفقاً لظروف التربة السائدة .



(صلب)

وقد يحاط ايون الحديدك المتكون بعدد من جزيئات الماء مكوناً صوراً مائية متعددة يحدد سيادتها pH التربة وهي Fe(OH)_4^- ، Fe(OH)_3^+ ، Fe(OH)_2^{+2} (الشكل 1) . وهذا يعني أن الصور Fe(OH)_3^+ ، Fe^{3+} ، FeOH^{2+} تسود في



الشكل (1) الصور المائية للحديدك المرتبطة بحالة توزن مع حديد التربة .

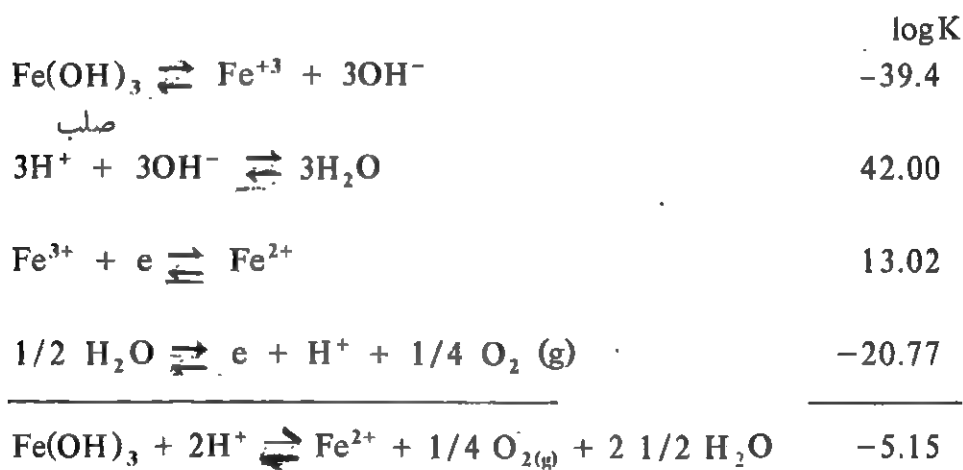
الوسط الحامضي بينما الصور Fe(OH)_3 , Fe(OH)_4^- تسود في الترب القاعدية . وقد لا يستقر ايون الحديدك في محلول التربة في الوسط الحامضي وقد يحتزل الى صورة ايون الحديدوز بمساعدة احياء التربة المتخصصة مثل **T. ferroxidans** التي تفضل الوسط الحامضي . وقد تحصل عملية أختزال الحديدك الى حديدوز نتيجة لأكسدة الكبريت الى كبريتات وفقاً للآتي



وبهذا فإن التفاعل السابق يجهز الوسط بعدد لا بأس به من الاليكترونات الحرة التي تستخدم في عملية الأختزال كالتالي :



وقد تحصل عملية إختزال الحديدك الى حديدوز نتيجة لغمر التربة بالماء وبهذا تقوم البكتريا اللاهوائية بخطوات الأختزال وتحصل هذه الخطوات كالتالي : -



وقد ترتبط جزيئات الماء مع أيون الحديدوز لتكون صوراً مائية أخرى خاصة بهذا العنصر مثل Fe(OH)^+ و Fe(OH)_2 التي تتأثر سيادتها بالوسط بقيمة pH الوسط وظروف التهوية . وسنحاول لاحقاً بيان العوامل المؤثرة على السلوك الكيميائي لهذه الصور في التربة .

يوجد الحديد بصورة ايونات متبادلة ، أي انها ممدصة على أسطح غرويات التربة ، وقد لا تشكل تشكل هذه الصورة الا نسبة قليلة جداً بالمقارنة مع الكمية الكلية للحديد بالتربة والتي تتمركز بصورة غير متبادلة أي معدنية أو مركبات مترسبة تكون جاهزة للنبات . وتعتبر صور الحديد الذائبة في محلول التربة

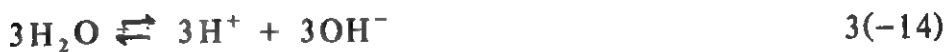
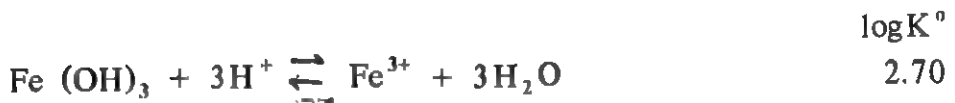
والموجودة بصورة عضوية أو معدنية ذات اهمية خاصة لكونها تمثل القسط الاكبر من الكمية الكلية الجاهزة بالتربة .

العوامل التي تؤثر على جاهزية الحديد

سنحاول هنا بيان اهم العوامل التي تؤثر على جاهزية الحديد في التربة للنبات النامي . وقد أجريت عدة دراسات لبيان دور هذه العوامل وكذلك معالجتها لتكون في خدمة زيادة جاهزية الحديد بالتربة وسنتطرق لبعض هذه الدراسات ضمن الآتي : -

1- تأثير درجة تفاعل التربة .

لقد سبق ان اشرنا الى ان جاهزية العناصر الغذائية تكون مرتبطة غالباً وبصورة عالية مع pH التربة . أما بخصوص العلاقة بين pH التربة وجاهزية الحديد فإن pH التربة له التأثير المباشر في تحديد سيادة الصور الايونية الذائبة في محلول التربة وكذلك التركيز الكلي الذائب في محلول التربة . ولو حاولنا اولاً التطرق الى ايون الحديدك وصوره المائية فإننا سنجد إن تركيز ايون الحديدك يقل بمقدار 1000 مرة عند زيادة قيمة pH التربة وحدة واحدة ويمكن وصف هذه العلاقة بالآتي :



$$[\text{Fe}^{3+}] [\text{OH}^-]^3 = K_{sp} \text{ (حاصل الاذابة)}$$

$$= 10^{-39.3}$$

وبعد التعويض عن قيمة $[\text{OH}^-]$ من ثابت التحلل المائي ($10^{-14} = K_w$)

$$[\text{Fe}^{3+}] = [\text{H}^+]^3 [10^{14}]^3 * 10^{-39.3}$$

$$= 10^{2.7} [\text{H}^+]^3$$

ولو إفترضنا إن pH الوسط يساوي (7) فإن تركيز الحديدك سيساوي :

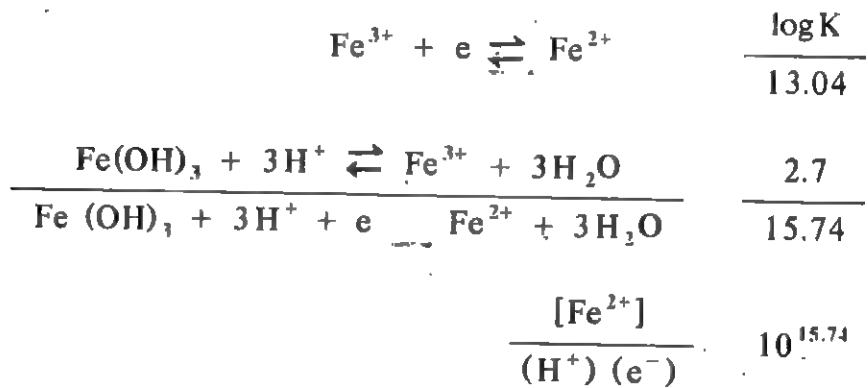
$$[\text{Fe}^{3+}] = 10^{2.7} * 10^{-21} \\ = 10^{-18.3} \text{ مول / لتر}$$

أما لو كان pH الوسط يساوي (8) فإن تركيز الحديدك سيساوي :

$$[\text{Fe}^{3+}] = 10^{2.7} * 10^{-24} \\ = 10^{-21.3} \text{ مول / لتر}$$

ولهذا نجد أن زيادة pH التربة من 7 إلى 8 أدى إلى خفض تركيز ايون الحديدك من $10^{-18.3}$ إلى $10^{-21.3}$ مول / لتر أي بمقدار 1000 مرة .

أما ايون الحديدوز وصورة المائية فإن زيادة pH التربة وحدة واحدة سيؤدي إلى انخفاض تركيز ايون الحديدوز بمقدار 100 مرة كما توضحه المعادلات التالية :



$$[\text{Fe}^{2+}] = 10^{15.74} (\text{H}^+)^3 (\text{e}^-)$$

ولكون الاليكترون سيتعادل مع واحد من ايونات الهايدروجين فإن

$$[\text{Fe}^{2+}] = 10^{15.74} (\text{H}^+)^2$$

وعند فرض قيمة pH التربة تساوي (6) فإن تركيز ايون الحديدوز سيكون .

$$[\text{Fe}^{2+}] = 10^{15.74} (10^{-12}) \\ = 10^{3.74} \text{ مول / لتر}$$

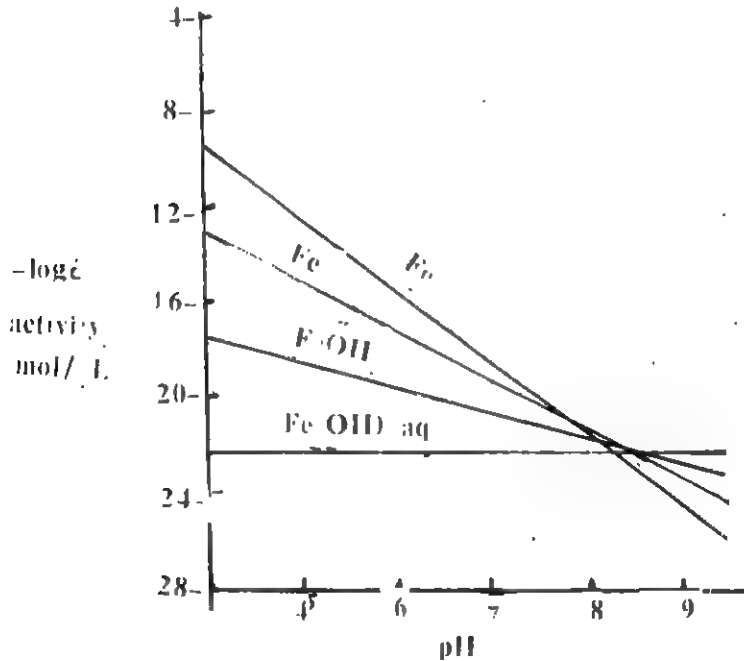
وعند قيمة pH تساوي (7) فإن تركيز ايون الحديدوز سيكون

$$[\text{Fe}^{2+}] = 10^{15.74} (10^{-14})$$

$$= 10^{1.74} \text{ مول / لتر}$$

أي أن زيادة pH التربة من 6 الى 7 ادى الى خفض تركيز ايون الحديدوز بمقدار 100 مرة من $10^{1.74}$ الى 10^{-14} مول / لتر .

ولهذا نجد أن التركيز الكلي للصور الذائبة في محلول التربة يقل مع ارتفاع pH التربة . وتكون السيادة لايون الحديدك في الوسط الحامضي (pH أقل) في حين تكون السيادة لايون الحديدوز في الوسط القاعدي (pH اعلى من 7.8) ويتساوى تركيز كل من الحديدك والحديدوز في pH يساوي 7.8 (الشكل 2) .

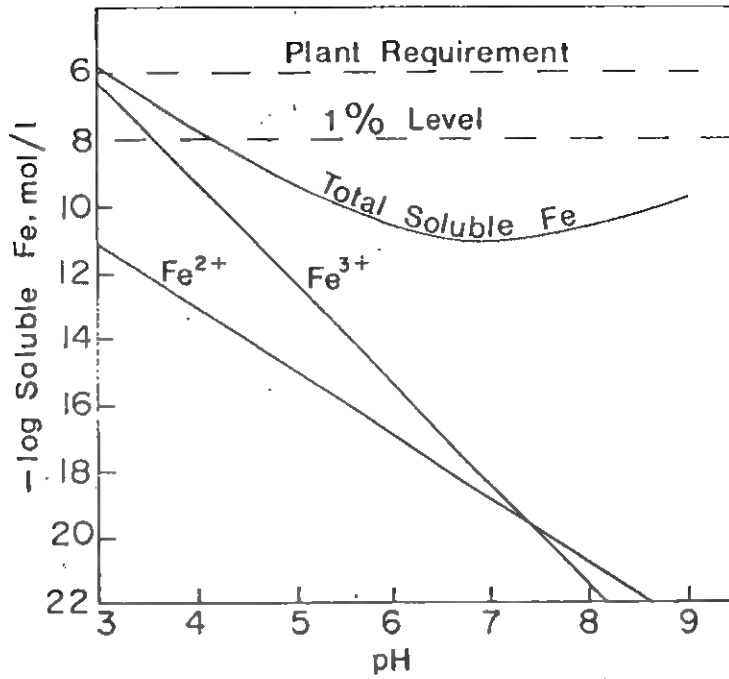


الشكل (2) العلاقة بين تركيز ايون الحديدوز وتركيز ايون الحديدك مع تغير قيمة pH الوسط (Lindsay, 1972) .

ولكن بسبب وجود مزيد من ايونات الهيدروجين في الوسط الحامضي تتحول جميع صور الحديدك الى حديدوز بسهولة في ظروف التهوية وكذلك الظروف اللاهوائية ويحتاج الوسط الى كمية كبيرة من الاوكسجين حتى تتحول صورة ايون

الحديدوز في الوسط الحامضي الى ايون الحديدك . ولكن في الوسط القاعدي تحتاج صورة ايون الحديدوز الى كمية قليلة من الاوكسجين حتى يتحول هذا الى ايون الحديدك لذا فإن السيادة في الوسط القاعدي لايون الحديدك في الظروف الهوائية الاعتيادية ولايون الحديدوز في الظروف غير الهوائية . لذا تحصل حالة التسمم بالحديد في الاراضي المزروعة بالرز لان غمر التربة وخلال عدة اسابيع يجعل مستوى الحديد الذائب يتحول من 0.1 جز في المليون الى 50-100 جزء في المليون حسب مااورده (Ponnamperuma, 1978) . وقد اشار (Trough, 1948) الى أنه عند ارتفاع pH اكثر من 6.5 فإن هذا يؤدي الى أن الحديد الذائب في صورة حديدوز Fe^{2+} سوف يتأكسد الى اوكسيد الحديدك الذي يكون غير ذائب تحت ظروف التربة المتعادلة والقلوية والذي يؤدي بذلك الى حدوث اعراض نقص الحديد بالنبات . وبين (Gupta et al, 1970) الى أنه عند ارتفاع قيمة pH التربة يتسبب ذلك في تحويل الحديد من صورة ايون الحديدوز الى حالة $Fe(OH)^{3-n}$ وهذه الحالة أو الصورة بطبيعة الحال غير جاهزة للنبات . ومن هذا يتضح لنا أهمية الصورة الذائبة لايون الحديدوز التي يفضلها النبات للأمتصاص وسيادة هذه الصورة في الوسط الحامضي في ظروف التهوية وغير التهوية وكذلك في الترب القاعدية التفاعل في ظروف غير التهوية فقط . وقد أوضح (Lindsay, 1974) إن الكمية الكلية الذائبة من الحديد في محلول التربة تعتمد على قيمة pH التربة وان معظم الترب تعاني من نقص الحديد الجاهز وذلك لان الكمية الكلية الذائبة من الحديد التي تسد احتياجات النبات تكون موجودة عند pH يساوي 3 ورفع pH التربة الى 4 يوفر 1% فقط من احتياجات النبات من الحديد (الشكل 3) . ولهذا فإن محتوى الحديد الذائب في الظروف الاعتيادية للترب الزراعية هو أقل من المطلوب لسد الاحتياجات .

لذا اتجهت آراء الباحثين نحو استخدام المحسنات الحامضية للتغلب على نقص الحديد وبالأخص بالترب القاعدية والجيرية . فقد ذكر (John, 1976) ان اضافة 10% من وزن التربة كبريت معدني ادى التغلب على نقص الحديد بالمقارنة مع عدم الاضافة . كما وجد (Al-Anie et al, 1977) ان زيادة جاهزية الحديد في تربة ابي غريب الرسوبية الجيرية بعد معاملتها بالكبريت كذلك ادت هذه الاضافة الى زيادة محتوى سيقان نباتات الشعير المزروعة والكمية الكلية الممتصة من قبل النبات . . وقد حصل (Taj-Aldin, 1979) على نفس التأثير لاضافة الكبريت عند زراعة نبات الحنطة في ثمان من الترب العراقية .



الشكل (3) العلاقة بين اذابة الحديد و pH التربة . الخطوة المقطعة تمثل 100% (الخط الاعلى) و 1% (الخط الاسفل) من احتياجات النبات .

2- تأثير المادة العضوية

يؤدي وجود المادة العضوية الى زيادة جاهزية بعض العناصر الغذائية باعتبار انها مصدر لبعض المواد العضوية التي تساهم في تكوين مركبات عضوية ذائبة مع ايونات المعادن . وفي دراسة قام بها (Takkar, 1969) حول تأثير مستويات مختلفة من المادة العضوية على الحديد المستخلص لكل من التربة الحامضية ، المتعادلة ، الكلسية وكذلك الترب الملحية والقلوية عند 60% من السعة الحقلية وفي الظروف الغدقة ، لاحظ ان الحديد الجاهز قد زاد بعد فترة 35 يوماً تحت ظروف 60% من السعة الحقلية بسبب زيادة كمية المادة العضوية وظهر بالترب تحت الظروف الغدقة نفس السلوك اذ زاد الحديد بصورة واضحة بزيادة المادة العضوية .

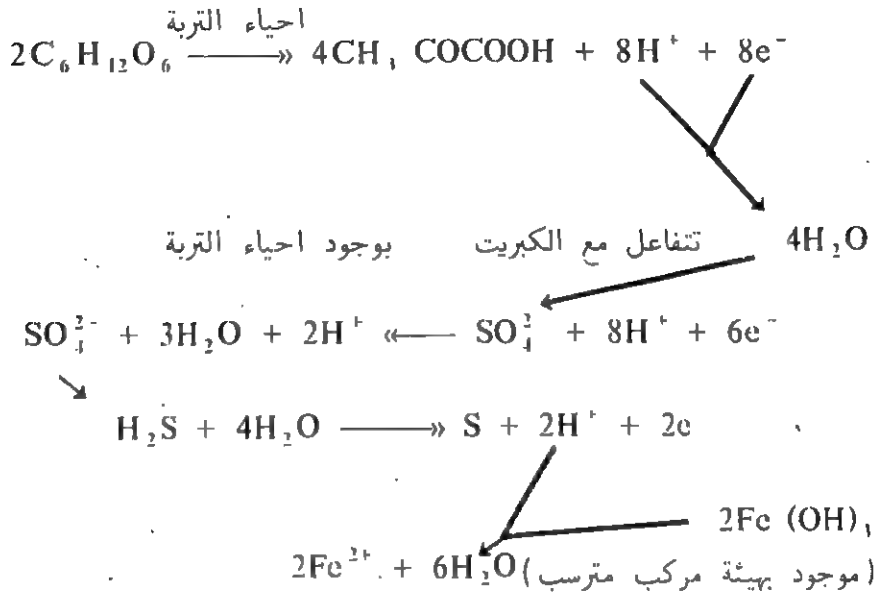
اشار (Walling ford et al, 1975) الى ان تأثير السماد الحيواني على الحديد المستخلص بواسطة DTPA من تربة مزيجية طينية غرينية قد زيدت في كمية الحديد المستخلص من هذه التربة . عالج (Miller et al . 1969) في تجربة بالببت الزجاجي النقص بالزنك والحديد بالترب المزروعة بنباتات الذرة بواسطة اضافة سماد الدواجن ، إذ تبين أن هذه السماد ربما يقوم بتجهيز المواد الحقلية التي

تؤدي في جعل المغذيات الصغرى بصورة جاهزة وقد توصل (Thomas & Mathers, 1979) الى ان المعدلات العالية من السماد العضوي المضاف قد صلحت من الاصفرار الناتج عن نقص الحديد في نبات الذرة البيضاء المزروعة في تربة كلسية ذات نسجة رملية طمية ناعمة ، لقد درس (Mandal, 1961) تأثير الغمر بالماء مع اضافة أو عدم اضافة مادة عضوية بهئة قش Straw على تركيز الحديدوز بحلول التربة وكذلك كمية الحديدوز المتبادلة (جدول 1) .

جدول (1) تأثير فترة الغمر بالماء مع اضافة أو عدم اضافة المادة العضوية على اختزال أيون الحديديك .

فترة الغمر بالماء يوم	الحديدوز في محلول التربة (جزء في المليون)	الحديدوز المتبادل ملي مكافئ / 100 غرام
المعادلة القياسية		
0	لا يوجد	لا يوجد
7	لا يوجد	لا يوجد
14	لا يوجد	قليل جداً
21	لا يوجد	10
28	لا يوجد	20
38	لا يوجد	31
51	قليل جداً	40
63	2.0	46
78	4.0	50
اضافة قش الخنطة		
0	لا يوجد	لا يوجد
7	لا يوجد	26.0
14	30.0	108.0
21	90.4	162.0
28	132.0	200.0
38	192.0	446.0
51	184.0	450.0
63	128.0	482.0
78	104.0	523.0

وتتلخص ميكانيكية تحلل القش في ظل ظروف غمر بالماء (الظروف اللاهوائية) بالآتي: -



3- تأثير كاربونات الكالسيوم

تتأثر صلاحية كثير من العناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات بارتفاع pH في الاراضي الكلسية كذلك فإن كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم تشترك بصورة مباشرة أو كطور صلب في تفاعلات ذوبان كل من الفسفور والحديد بصفة خاصة . وعناصر أخرى بصفة عامة . أشار (Bonnet, 1947) الى أن الترب الكلسية تعاني من نقص الحديد اذ يؤدي الى زيادة CaCO_3 أو وفرة الترب الى تقليل جاهزية الحديد والمنفيز . وأوضح (Mahendra & Dahiya, 1976) في دراسة قام بها حول تأثير CaCO_3 على جاهزية الحديد وعلى الوزن الحاف لنبات الحمص . ووجدا أن اضافة كاربونات الكالسيوم الى تربة قوامها خفيف pH 7.2 أدت الى زيادة معنوية في الوزن الجاف بدون اضافة الحديد . لكن وزن المادة الجافة قد قل عندما اصبحت نسبة كاربونات الكالسيوم 8% عند غر النبات الى 75 يوما . ووجدا أيضا ان تركيز الحديد وكذلك الحديد الممتص قد قل بزيادة نسبة كاربونات الكالسيوم وأكد (Dingra et al. 1965) أن حدوث عملية نقص في جاهزية الحديد بسبب زيادة محتوى التربة من CaCO_3 التي تساعد على تحويل أيون الحديدوز الذائب الى صورة غير ذائبة هي اوكسيد الحديدك أو هايدروكسيد الحديدك . ووجد (Abd-Elrazak, 1975) عند اضافة CaCO_3 الى تربة

طينية بمعدلات 0 ، 30.9 ، 63.8 ، 98.8 ، 162.0 ، 234.0 غم CaCO_3 / غم
 تربة تم زراعتها بنباتات اللوبيا ولدة شهرين ووجد أن اضافة CaCO_3 الى التربة
 قد شجع نمو نبات اللوبيا ولكن انخفض تركيز كل من الحديد والزنك والبورون
 والفسفور في الاوراق بينما لم يتأثر تركيز الكالسيوم فيها بأضافة كاربونات
 الكالسيوم . وقد بين (Humbert, 1963) أن CaCO_3 يؤدي الى زيادة في pH
 التربة وبالتالي يؤدي الى تقليل في جاهزية الحديد .

لقد اشار (Rutland, 1971) الى أن وجود كاربونات الكالسيوم يشجع نقص
 الحديد ويساهم في ظهور الاصفرار وقد عزا سبب ذلك الى عامل فسيولوجي هو
 عرقلة ايون HCO_3^- لامتصاص الحديد وانتقاله بالنبات . وقد أكدت نتائج
 التجربة التي قام بها (Rutland, 1971) بأن وجود ايون HCO_3^- في المحلول
 المغذي يعرقل امتصاص الحديد بالمقارنة مع عدم اضافة HCO_3^- (جدول 2) .

جدول (2) تأثير اضافة HCO_3^- الى المحلول المغذي على امتصاص وتوزيع الحديد
 في النبات (بوحدة Cpm) .

الاوراق الحديثة	الاوراق القديمة	السيقان	الجزور	
420	70	75	1638	بدون HCO_3^-
272	87	76	1438	اضافة HCO_3^-

ويعتبر أيون HCO_3^- الناتج الطبيعي في الترب الكلسية بسبب تحلل المادة
 الكلسية وفقاً للآتي :



وقد فسر (Mengel & Kirkbye, 1982) تأثير أيون HCO_3^- على امتصاص
 الحديد من قبل النبات ، بأن امتصاص هذا الأيون يؤدي الى رفع pH خلايا
 النبات وهذا يؤدي الى تدهور الحديد وترسيبه داخل النبات . أو قد يعود السبب
 الى أن ميكانيكية تحويل النايروجين بالأخير NO_3^- «—» $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ داخل
 النبات تحتاج الى حموضة (ايونات H^+) وليس وجود ايونات الهيدروكسيل الناتج
 من تحلل ايون HCO_3^- داخل خلايا النبات مما يعرقل ذلك امتصاص النايروجين

بهئية NO_3^- . وقد أكد (Aktas & van Egmond, 1979) أن زيادة مستوى NO_3^- في المحلول المغذي يشجع حالة الأصفرار الناتجة من وجود CaCO_3 المسببة في نقص الحديد .

ومن اجل مراعاة نمو النبات وتغذيته تحت ظروف الاراضي الجيرية فإنه يجب أخذ النقاط الآتية في الاعتبار :

(1) الحذر من الرطوبة الزائدة حتى يعمل على الاقلال من التحلل المائي للمادة الكلزية .

(2) يمكن الاقلال من مفعول ايونات OH^- الناتجة عن التحلل المائي للكربونات بزيادة نسبة CO_2 في الهواء الارضي .

(3) ينصح بتحميض الاراضي الكلزية للمساعدة في نمو النبات وتغذيته .

4- تأثير الاملاح الذائبة

تؤثر الاملاح الذائبة من خلال تأثيرات ايونات الكالسيوم والبيكاربونات على جاهزية الحديد . وكذلك فإن للصدويم المتبادل تأثيراً من خلال زيادة قيمة pH التربة .

5- تأثير الرطوبة

اشارت معظم الدراسات الى إن الرطوبة الزائدة في التربة تؤدي الى زيادة جاهزية الحديد . وقد يرجع سبب ذلك لخلق ظروف لاهوائية مما يساهم في زيادة ذوبان مركبات الحديد . فقد وجد (Chorian et al. 1968) إن نباتات الرز تحتوي على محتوى حديدي عالٍ عندما تنمو تحت ظروف الغمر بالمقارنة بالظروف غير الغدقة . و اشار (Cheng et al. 1971) الى إن ارتفاع درجة الحرارة وزيادة محتوى التربة الرطوبي قد ادى الى زيادة محتوى النبات من الحديد والمنغنيز وكميات قليلة من الالمنيوم والمولبديوم . ولكن قد لايفضل الري الزائد في الترب الكلزية وذلك للأقلال من التحلل المائي لكربونات الكالسيوم . فقد لاحظ (Boxma, 1972) حدوث الأصفرار في النباتات النامية بالترب الكلزية ذات المحتوى الرطوبي العالي ، وبين ان هذين العاملين لا يحدث تأثيرهما بصورة مباشرة بسبب نقص مستويات الاوكسجين . بالتربة لكن بسبب إنتاج مستويات عالية من ايونات البيكاربونات تحت الظروف الرطبة بالتربة . أما (Olamu & Ræz, 1974) فقد وجدوا اعراض الاصفرار في نبات الشوفان بعد أن غمر في ترب رطبة ومغمورة بالمياه ، إذ ان الاصفرار الناتج كان مرتبطاً في قلة تركيز الحديد والمنغنيز بالنباتات .

6- تأثير اضافة عناصر غذائية أخرى

بين كل من (Burleson & Gunnigham, 1963) أن احد اسباب حدوث اعراض نقص الحديد على النباتات هو اضافة أو وجود المستويات العالية من النايروجين بصورة نترات nitrate . وفي بحث قام به (Schmidt et al 1973) وجدوا ان محتوى الحديد لاوراق بعض النباتات الاستوائية كان قليلاً عند عدم اضافة الحديد الى المحلول المغذي وقد ظهرت عليها اعراض نقص الحديد ، لكن هذه الاعراض قد إختفت وزاد الحاصل عند اضافة الحديد بمقدار (1) جزء في المليون الى المحلول المغذي وقد أضيف النايروجين بمعدل 4 مليمكافئ/ لتر لكل معاملة من معاملات الحديد المضافة وبهيئة صورة الامونيوم ولكن بقيت اعراض نقص الحديد عندما استبدلت صورة الامونيوم بصورة النترات وزادت شدة اعراض نقص الحديد عند زيادة مستوى إضافة النايروجين بصورة النترات الى 8 أو 16 مليمكافئ لكل لتر. كما وجد (Aktas & Egmond, 1980) ان شدة الاصفرار على نبات فول الصويا يزداد بزيادة كمية النترات المضافة. في حين لاحظ (Solov & Goluben, 1980) بأن للتسميد النايروجيني تأثيراً في زيادة حركة الحديد والمنغنيز بالتربة ، وكذلك يزداد حوالي 3-4 مرات المعدل الطبيعي من محتوى النبات من الحديد لكنه يقلل من هذا المحتوى عند المعدلات العالية بسبب التخفيف .

وقد يرتبط التداخل بين الحديد والنايروجين بعدة آراء معظمها تؤكد إن اضافة الحديد مع التسميد النايروجيني يزداد الانتاج اذا كانت الصورة التي اضيف عليها النايروجين هي الامونيوم أي ان السماد حامضي التفاعل وتصبح الحالة معكوسة عند اضافة النايروجين بصورة نترات (قاعدي التفاعل) . وإن زيادة التسميد النايروجيني يؤدي الى زيادة النمو الخضري زيادة معنوية مما يسبب تخفيف محتوى النبات من الحديد .

أما دور الفسفور ، فقد أتضح ان المستويات العالية من الفسفور في بيئة النمو تؤدي الى نقصان في قدرة النبات على امتصاص الحديد وخاصة تحت الظروف المتعادلة والقلوية (Brow, 1956). وبصورة عامة يعتقد بأن الفوسفات تعمل كعامل مشارك في ترسيب الحديد بهيئة مركبات قليلة الذوبان وبهذا تتعرض جاهزية الحديد للتدهور (Brown et al. 1955).

وجد عزاء بعض الباحثين تأثير الفسفور في زيادة نقص الحديد الى تأثيره على توزيع الحديد في اجزاء النبات بالنسبة الى محتوى هذه الاجزاء من الفسفور أي تأثيره على نسبة P / Fe . فقد وجد أن بعض النباتات التي تعاني من الاصفرار

بسبب وجود مستويات عالية من الفسفور وتبين أن تركيز الحديد في أنسجة النباتات كان طبيعياً أو اعتيادياً لكن نسبة $\frac{P}{Fe}$ كانت عالية أو أعلى في النباتات المصفرة وهذا ربما كان راجعاً إلى أن قدرة النبات على امتصاص الحديد ومسكه يكون قليلاً لارتفاع تركيز الفسفور في النبات . وقد وضع (Watanabe et al 1965) حصول توقف في نمو النباتات وكذلك نقص شديد عند زيادة مستوى الفسفور في المحلول الغذائي من 0.2 إلى 0.6 ملي مول عند إضافة الحديد على صورة Fe-EDDHA بمستوى 40 ملي مول ، وقد تم علاج هذا النقص بزيادة مستوى الحديد المضاف من 40 إلى 80 ملي مول . ووجد كذلك بأن تركيز الحديد في القمة النامية للذرة لم يتغير بواسطة إضافة مستويات الحديد لكن نسبة $\frac{P}{Fe}$ قد قلت من 158 إلى 61 . ويمكن يمدد هذا التأثير من خلال الاضطراب الحيوي في خلايا النبات الناتج من عدم التوازن بين احتياج النبات من الحديد والفسفور .

وقد أشارت إحدى التجارب إلى أن تركيز كل من الحديد والفسفور لجذور نبات الطماطة النامية في المحلول المغذي كانت أعلى بمجوالى 8-10 مرات عما هو عليه في القيم النامية ، وهذه فسرت على أساس أن فوسفات الحديد تترسب على أو في داخل الجذور (Ayed, 1970) . وقد أشار (Redisk & Biddulph, 1953) إلى أن التداخل بين الحديد والفسفور يؤدي إلى حدوث الاصفرار وهذا قد يكون بسبب تكوين معقدات غير متحركة من الفسفور والحديد داخل الجذر مؤدياً إلى عدم حركة الحديد إلى الأعلى .

وقد ذكر (Bolle Jones, 1955) بأن نباتات البطاطا النامية بمستويات منخفضة من الحديد قد ظهر عليها الاصفرار في وجود كاربونات الكالسيوم أو وجود مستويات عالية من الفسفور أو عندما يكون البوتاسيوم معدوماً أو حدوث نقصان فيه ، وعولج هذا الاصفرار في كل حالة بإضافة مستويات عالية من البوتاسيوم الذي كان يعتقد بأنه يؤدي إلى زيادة في استعمال الحديد في تكوين الكلوروفيل ، وقد أيدتها في الرأي كل من (Burleson & Gunnighom, 1963) . وأشار (Oertli & Opoku, 1974) إلى أن امتصاص الحديد من هايدروكسيد الحديدك بداخل أوراق الذرة قد زاد وتحسن في وجود كبريتات البوتاسيوم ، بينما كان لنترات البوتاسيوم تأثير قليل ، وهذا يعزى إلى انخفاض في pH الذي أدى بذلك إلى زيادة من الكايتونات الممتصة من K_2SO_4 الذي جعل الحديد أكثر ذوباناً . أن التداخل بين الحديد والبوتاسيوم ليس مقتصرأ على مصدر الحديد المعدني فقط بل لدور البوتاسيوم المساعد في زيادة استجابة النبات للحديد (John, 1967) . ومساعدته على اختزال صورة الحديدك داخل النبات إلى الحديدوز (Trolldenier, 1973) .

دور الحديد في النبات واعراض نقصه

يتمص النباتات الحديد بصورة ايون الحديدوز ومعقداته العضوية الذائبة بعد ان يبعد المعقد الخلي الى محلول التربة . والحديد عنصر متحرك داخل النبات أي انه لا يتحرك من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة . ويعتبر عنصر الحديد ضرورياً جداً في تكوين الصبغة الخضراء ، كما إنه يدخل في تركيب بعض الأنزيمات ومنها الانزيمات المساهمة في عملية التنفس ولهذا فإن للحديدوز دوراً هاماً في عملية التنفس في النبات . وان اهم الانزيمات الخاصة بالتنفس Cytochrome, Peroxidelase, Catalase .

إن اعراض نقص الحديد قد تتشابه مع اعراض نقص المنغنسيوم وذلك لكون الاثنين لهما مساهمة فعالة في تكوين الكلوروفيل . تظهر اعراض نقص الحديد في الاوراق الحديثة لكونه عنصراً غير متحرك داخل النبات ولكن اعراض نقص عنصر المنغنسيوم تظهر على الاوراق القديمة . وبين (Brown, 1980) بأن النباتات الخضراء تحتاج الى تجهيز مستمر لها من الحديد حتى تنمو وذلك لأن الحديد عنصر غير متحرك . وقد يظهر على النبات الاصفرار بالرغم من وجود نسبة مرتفعة من الحديد لأن النبات يستفيد من الحديد في أنسجته الا أنه في هذه الحالة يكون على صورة غير فعالة للنبات وهي الحديديك لأن النبات يستفيد من الحديد الموجود في صورة حديدوز ولذا يعمل النبات على أختزال الحديديك بمجرد امتصاصه الى حديدوز . وان القدرة الأختزالية تختلف بين انواع النباتات مما يعكس ذلك اختلاف النباتات في قدرتها على امتصاص الحديد الذائب في محلول التربة واستهلاكه .

بين (Neubert et al, 1969) معدلات تركيز الحديد لاربعة وعشرين محصولاً من الحدود التي تظهر عندها اعراض النقص الى التي يظهر بها التأثير السام ، وقد وجد ان تركيز الحديد في حدود (50) جزءاً في المليون أو أقل للمادة الجافة النباتية يظهر عند هذا المستوى اعراض النقص ، وأشار الى أن المدى الملائم والكافي يتراوح بين 50-250 جزءاً في المليون من الحديد بأنسجة النباتات . وان اعراض السمية عبارة عن بقع بنية اللون تتوزع وبشكل عشوائي على أوراق النباتات . وتكثر حالة السمية في محصول الرز عندما يكون محتوى اوراقه اكثر من (300) جزء في المليون .

اسمدة الحديد وطرق اضافتها

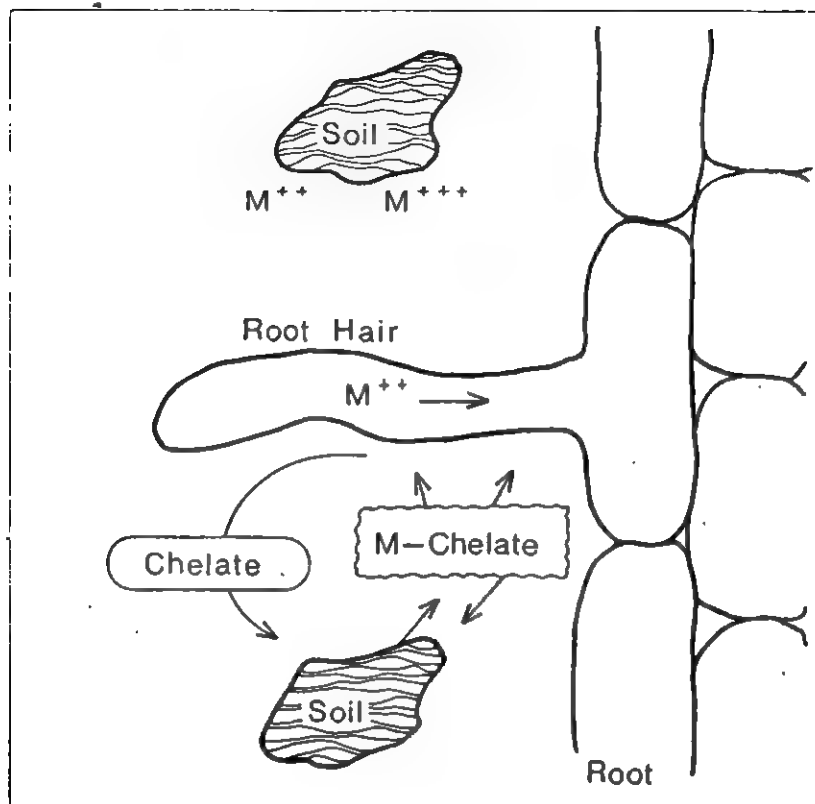
يبين الجدول (3) انواع اسمدة الحديد المعدنية والمخلبية ومحتواها من الحديد . وقد تضاف هذه الاسمدة مباشرة للتربة وقد تضاف في معظم الاحيان بطريقة الرش . وإن لخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية وكذلك لخصائص السماد دوراً هاماً في تحديد طريقة اضافة السماد المفضلة .

جدول (3) اسمدة الحديد المعدنية والمخلبية

المصدر	الصيغة	محتوى الحديد %
كبريتات الحديدوز	$Fe SO_4 \cdot 7H_2O$	19
كبريتات الحديدك	$Fe_2 (SO_4)_3 \cdot 4H_2O$	23
او اكسيد الحديدوز	FeO	77
اوكسيدات الحديدوز	Fe_2O_3	69
كبريتات الامونيوم والحديدوز	$(NH_4)_2 SO_4 \cdot Fe SO_4 \cdot 6H_2O$	14
ميتافوسفات الامونيوم والحديدوز	$Fe (NH_4) HP_2O_7$	22
فوسفات الامونيوم والحديدوز	$Fe (NH_4) PO_4 \cdot H_2O$	29
الاسمدة المخلبية	$NaFeEDTA$	5-14
	$NaFeHEDTA$	5-9
	$NaFeEDDHA$	6
	$NaFeDTPA$	10

وتستخدم كبريتات الحديدوز للرش غالباً بتركيز 4-6% معتمداً على نوع المحصول وشدة النقص وتكون كفاءة الاسمدة المخلبية اكبر من كفاءة الاسمدة المعدنية غالباً وبالأخص عند اضافتها للترب الكلسية أو القلوية . وقد يرجع سبب ذلك الى كون الاتحاد بين العنصر والمادة المخلبية يفقد هذا العنصر بعض خواصه الايونية بحيث لا يمكنه الاشتراك في تفاعلات مع مكونات التربة الاخرى فيبقى ذائباً في محلول التربة حتى في درجات pH المرتفعة في حين أن نفس العنصر يترسب تحت هذه الظروف اذا لم يكن متحداً مع المخلبيات وتعتبر مخلبيات الحديد اكثر ثباتاً بالمقارنة مع المركبات المخلبية للعناصر الغذائية الصغرى الاخرى . ويفسر

تأثير المركبات الخلبية في زيادة صلاحية الحديد على اساس أن جذور الحاصل تمتص الكايتونات الغذائية من المركب الخلي عن طريق التبادل معه بآركة الجزء العضوى فى محلول التربة (الشكل 4) .



الشكل (4) حركة العنصر الغذائى بواسطة المركب الخلي (Lindsay, 1974) .

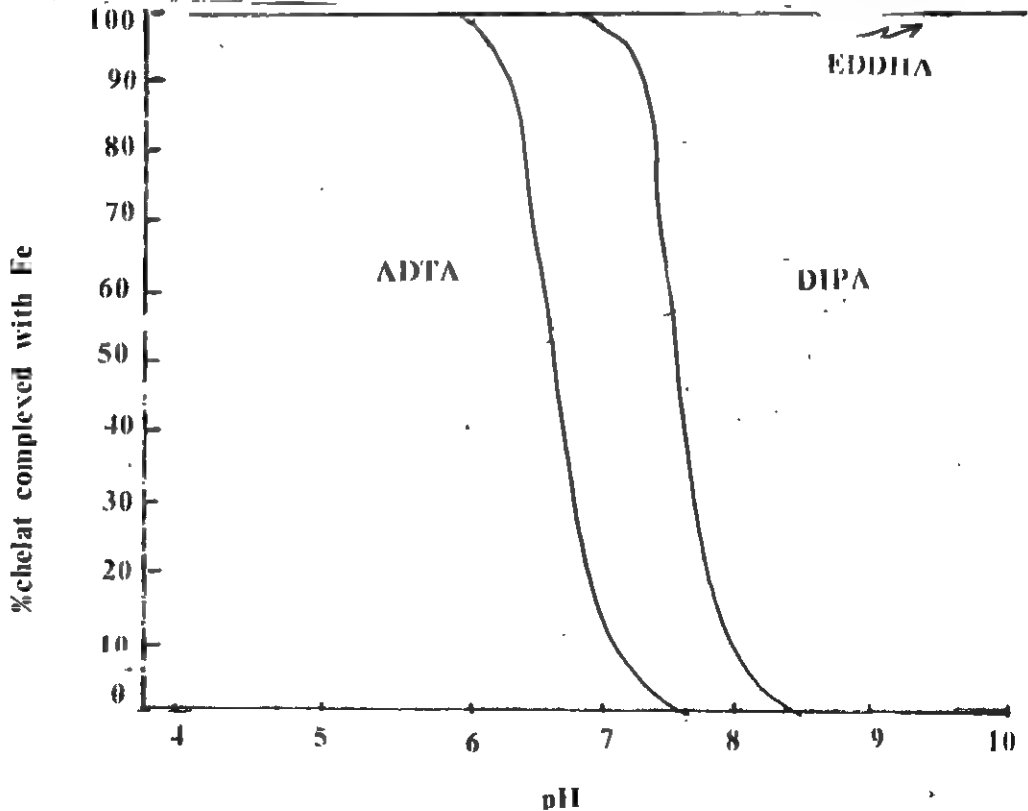
ويترسب على فقد الكايتون من المركب الخلي تهم البناء الخلي فيتحد الجزء العضوى مع الكايتونات المختلفة فى محلول التربة مع تحرير ايونات H^+ مما يؤدى الى انخفاض الـ pH وبالتالى الى زيادة قابلية مركبات Fe للذوبان وفى نفس اللحظة التى يتحد فيها الجزء العضوى مع كايتونات محلول التربة فقد يدخل ايون الحديد كمجموعة فعالة تحيط بالكايتون فى البناء الخلي ويتكون مايعرف بالمركبات الخلبية .

وجد (Tiffin and Brown, 1961, 1959) انه عندما يضاف الحديد الى بعض النباتات على شكل (Fe-EDDHA) يحصل أن يمتص الحديد من المركب الخلي عند الجذور تاركاً التركيب الخلي فى بيئة النمو، وقد وجد أن هنالك

كميات قليلة جداً من المركب المحلي تمتصها الجذور . ووضح (Tiffin et al. 1960) إن الدور الاول للحديد المحلي في تغذية النبات يبدو أنه يؤدي الى جعل الحديد في صورة ذائبة وبالتالي يكون ميسراً وجاهزاً للامتصاص عن طريق الجذور .

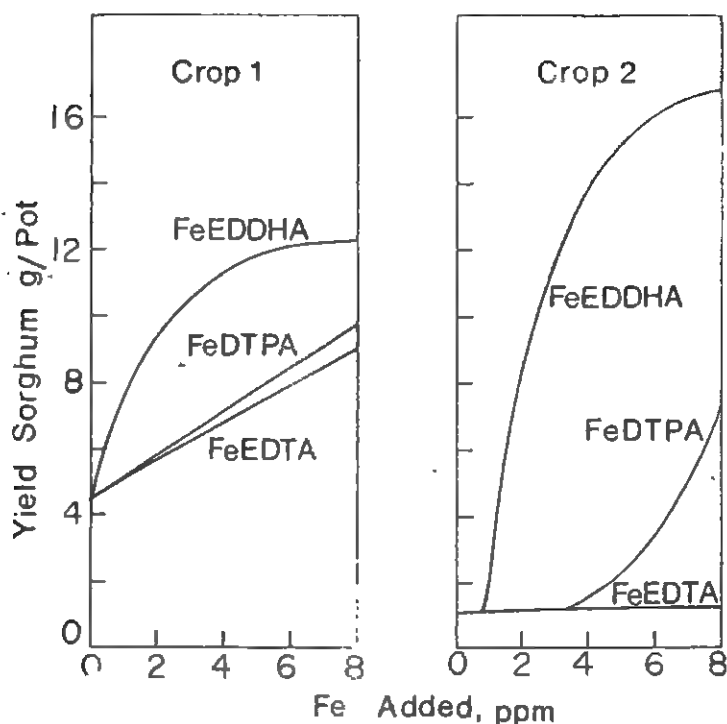
وفي دراسة اجريت لمعرفة سلوك المركبات المحلية المعدنية FeDTPA, FeEDDHA, FeEDTA بالترب الكلسية وجاهزيتها للنباتات وجد بأن اعلى كمية قد امتصت من قبل النباتات قد حصلت مع FeEDDHA وبدون ظهور أي تأثير سام ، وإن حوالي 65% من الحديد تبقى بصورة ذائبة عند إضافة صورة FeEDDHA (Lindsay, 1974) وقد استنتج بأن هنالك اختلافات في كفاءة المركبات المحلية المضافة الى الترب الكلسية والترب القلوية .

ويوضح الشكل (5) الذي اورده (Lindsay et al 1967) انه عند ارتفاع pH التربة لاكثر من (6.0) فإن الكالسيوم يحل محل الحديد الثلاثي ليعطي $CaEDTA^{-2}$ مع ترسيب الحديد في صور مركبات مترسبة . وعند أعلى pH من



الشكل (5) ثباتية المركبات المحلية للحديد المضاف للتربة عند pH مختلفة وتركيز ثابت من الكالسيوم (25×10^{-3} مول / لتر .

(7.0) فإن المركب $FeDTPA^{2-}$ يبدأ في اتخاذ نفس المنهج بينما يظل المركب $FeEDDHA$ ثابتاً خلال المدى من (pH) 4-10 . هذه العلاقات المحسوبة بالنسبة للمواد النقية تم اختبارها تحت ظروف التربة ولفترات زمنية متباينة . ولهذا فإن استجابة محصول الذرة البيضاء كانت دليلاً واضحاً على سلوك هذه المركبات في التربة (الشكل ٦)



الشكل (6) تأثير المركبات الخلية المعدنية للحديد في تصحيح نقص الحديد في الترب الكلسية لمحصولي الذرة البيضاء .

وقد تستخدم أسمدة الحديد المعدنية بالإضافة لاسمدة المركبات الخلية في معالجة نقص الحديد الناتج من انخفاض النامية في الترب الكلسية أو القلوية ، لكن جميع النتائج تؤكد كفاءة اسمدة الحديد الخلية (Wallace, 1961; Knezek & Maier, 1971) وغيرهم إن الدراسات التي قام بها (Kashirad & Marschner, 1974) عند زراعتها لنبات عباد الشمس والذرة في محلول غذائي بدون حديد أو بحديد معدني أو حديد مخلبي $FeEDDHA$ بتركيز 2 ppm فقد ظهر في النتائج كليهما حدوث اصفرار عند عدم المعاملة بالحديد وكذلك عند اضافة الحديد المعدني . وقد اشار (Tisdale & Nelson, 1975) الى أن اضافة كبريتات الحديدوز للترب الكلسية عموماً غير مؤثر لان هذه الترب تحتوي اكثر من Fe المضاف كسماد وبعده

مرات والمشكلة هي انخفاض الجاهزية نتيجة ارتفاع الـ pH أو CaCO_3 وإن إضافة السماد سرعان ما يتحول الى صورة غير جاهزة .

2- البورون Boron

يعتبر عنصر البورون من العناصر الغذائية المهمة للنبات وقد صنف هذا العنصر على اساس انه من العناصر الغذائية الصغرى . يشترك عنصر البورون في العديد من العمليات الفسيولوجية التي يقوم بها النبات . ويوجد هذا العنصر بالترب بصور مختلفة ترتبط غالباً بحالة توازن كيميائي . وسنحاول في هذا الجزء بيان محتوى التربة من البورون وجاهزيته والعوامل التي تؤثر على جاهزيته . وكذلك دور هذا العنصر في الانتاج الزراعي واعراض النقص والسمية .

البورون في التربة

يتراوح المحتوى الكلي من البورون في الترب من 2-100 جزء في المليون (Swaine, 1955) . ويختلف محتوى الصخور السيليكاتية من البورون اختلافاً كبيراً اذ وجد أن حجر الجير lime stone يحوي على (20) جزءاً في المليون ويحوي الصخر الرملي Sand stone (35) جزءاً في المليون ، إما بالنسبة للصخور الرسوبية فإن محتواها قد يصل الى (100) جزء في المليون (Turekian & Wedopohl, 1961) . ومن التحليلات التي قام بها (Taylor, 1964) وجد أن القشرة الأرضية تحوي على (10) جزء في المليون في حين أن الصخور النارية الجراييتية تحوي على (15) جزءاً في المليون والصخور النارية البازلتية على (5) جزء في المليون . وقد اشار (Davies, 1980) الى أن محتوى الترب من البورون الكلي يتراوح بين 4-98 جزءاً في المليون وإن القيم العالية من البورون الكلي تمثل الترب الملحية الجافة . إن محتوى ترب المناطق الجافة وشبه الجافة مرتفعاً عما تحتويه الترب الموجودة في المناطق الرطبة . كما أن محتوى الترب المتأثرة بمياه البحار عالي جداً قد يصل الى اعلى من احتياجات النبات . وتعاني الترب الحاضية والعضوية وكذلك الترب الفقيرة بالجبس أو الكلس من نقص البورون وذلك لانخفاض محتوى البورون الكلي في مثل هذه الترب .

صور البورون في التربة

يوجد البورون بالتربة بصورة مختلفة تشكل مجموعها المحتوى الكلي من البورون بالتربة وهي :

1- صور البورون المعدنية

يوجد البورون إما بهيئة مركبات معدنية مختلفة أو يدخل في تركيب بعض معادن التربة نتيجة للتحلل المتأثر مع أيونات الألمنيوم والسيليكون . وقد حدد (Kravskopf, 1972) أهم مركبات البورون المعدنية المنتشرة في الترب بالآتي :

1- البورات المائية **Hydrous borate** مثل :

- أ - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ Borax
- ب - $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ Kernite
- ج - $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ Colemanite
- د - $\text{Na}_2\text{CaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ Ulexite

2- البورات الالامائية **Anhydrous borate** مثل :

- أ - Mg_2FeBO_5 Iudwigite
- ب - $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$ Kotoite

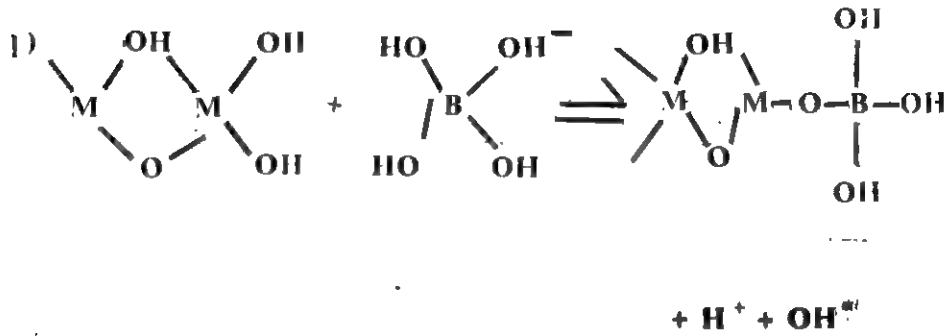
وأما دخول البورون بالتركيب المعدني فإنه يؤدي إلى انتشاره في مختلف الترب . فقد أشار (Wedepohl, 1972) إلى وجود أكثر من ثلاثين معدن يحتوي على بورون وأن أكثرها سيادة وشيوعاً هو معدن **tourmaline** الذي يحوي على (3-4% بورون) . وتعتبر صور البورون في المركبات المعدنية أو التركيب المعدني غير جاهزة للامتصاص المباشر ما لم يتحرر البورون ويصبح ذائباً في محلول التربة . وتعتبر صور البورات المعدنية (الداخلية في التركيب المعدني للمعادن) من أقل مصادر البورون تجهيزاً لمحلول التربة وذلك لقوة ارتباطه في التركيب المعدني .

2- البورون الممدص (الممتز)

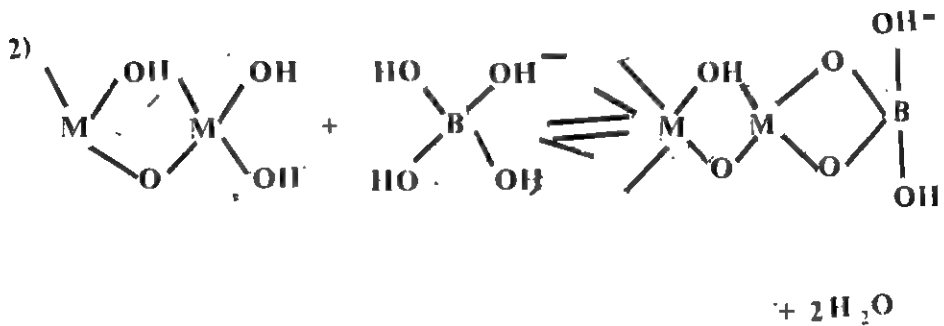
يرتبط البورون بغرويات التربة كيميائياً مما يجعله بعيداً عن محلول التربة . وقد ينظر إلى صور البورون الممدصة على أنها من الصور الجاهزة للنبات والمرتبطة في معظم الأحوال بحالة توازن مع صور البورون الذائبة في محلول التربة . يرتبط البورون إما بهيئة حامض البوريك أو بهيئة أيون البورات $\text{B}(\text{OH})_4^-$ مع معادن وغرويات التربة المختلفة ، ويكون الارتباط مع :

- أ - الحواف المكسورة لمعادن سليكات الألمنيوم
- ب - الأكاسيد والهيدروكسيدات الحرة مثل هيدروكسيد الألمنيوم والحديد .
- ج - هيدروكسيد المغنيسيوم .

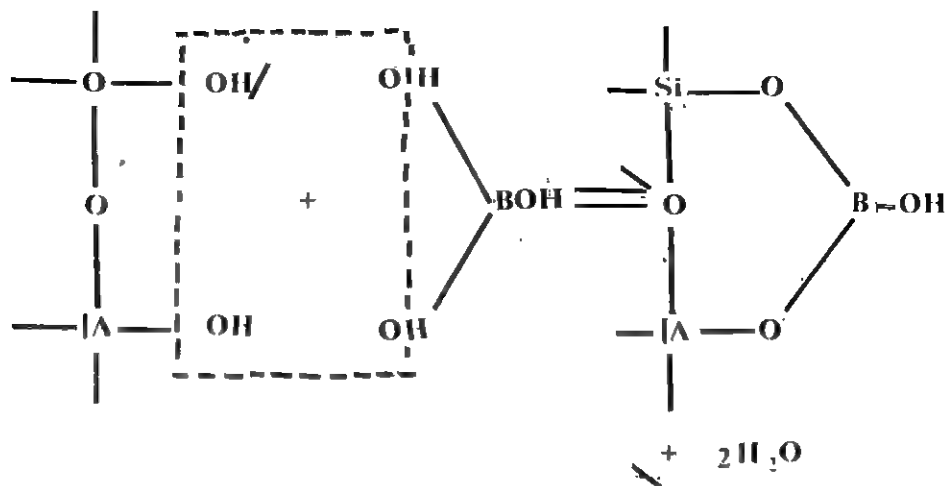
يُحصل الامدصاص للبورون على سطح معادن سليكات الالمنيوم عندما تكون شحنة سطح المعدن موجبة وبهذا يمكن ان نتوقع عدم سيادة هذه الحالة من الامدصاص الا في ظروف الوسط الحامضي . وتعتبر الاكاسيد والهيدروكسيدات الحرة اكثر غرويات التربة مسؤولة عن امدصاص البورون . ويحصل الامدصاص وفقاً للحالتين التاليتين كما وصفها (Davis, 1980)



اي أن هذه الحالة عبارة عن تبادل بين البورات وايونات الهيدروكسيد .



وفي هذه الحالة يتكون معقد يعرف باسم borate-diol complex . اما ميكانيكية الامدصاص بواسطة معادن الطين فيمكن وصفها كالآتي :



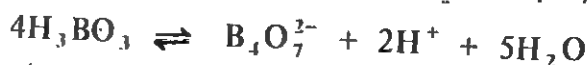
وينتشر امدصاص البورات بواسطة اكاسيد المغنيسيوم في ترب المناطق الجافة وشبه الجافة وقد يتطور هذا الامدصاص ليتكون مركب معدني عبارة عن ferromagnesium minerals .

3- البورون في المادة العضوية

يوجد البورون على صورة معقدات عضوية كما اشار الى ذلك (Noakes & Hood, 1961) مما تساهم هذه المعقدات على انتشار هذا العنصر في افاق التربة . يرتبط أيون البورات مع المادة العضوية وسنحاول لاحقاً بيان تأثير محتوى الترب من المادة العضوية ونوعها على صورة معقدات البورون العضوية .

4- صور البورون الذائب في محلول التربة

يعتبر البورون الذائب في محلول التربة من اهم صور البورون الجاهزة مباشرة للنبات . وهذا بالطبع يتأثر بخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية . فقد اشار (Satayanarayan, 1958) الى ان محتوى البورون الذائب في الترب الصحراوية مرتفعاً ويتراوح من 2.6-12.6 جزء في المليون. وفي بعض الترب يتراوح محتواها من 3.4-7.2 جزء في المليون وقد وصل محتوى بعض نماذج الترب بين 0.2-1.5 جزء في المليون اي بمعدل 0.65 جزء في المليون . ويوجد البورون في محلول التربة بصورة حامض البوريك H_3BO_3 و $H_2BO_3^-$ بالإضافة الى الاشكال المتأينة الاخرى مثل $B_4O_7^{2-}$ الذي يتكون من تحلل حامض البوريك كالآتي :



ويعتبر حامض البوريك أكثر الصور الذائبة انتشاراً ، رغم كون هذا الحامض ضعيفاً ويتطاير حتى في درجات الحرارة المنخفضة . وقد لاحظ (Nies & Compbell, 1964) أن ايون البورات $B(OH)_4^-$ أكثر تواجداً عند وجود تركيزات من حامض البوريك اقل من (0.1 مول) بينما في التركيزات الاكثر من (0.5 مول) فإن ايون $B_4O_7^{2-}$ هو الاكثر شيوعاً في محلول التربة .

ينتشر البورون في الترب القاعدية بهيئة مركبات (بورات الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم) عالية الذوبان مما تساهم في رفع تركيز البورون في محلول التربة لدرجة السمية .

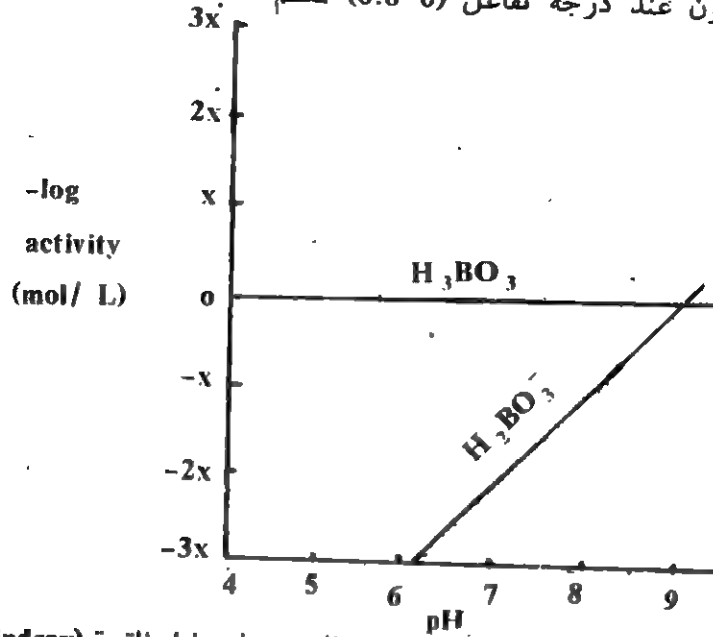
العوامل التي تؤثر على جاهزية البورون

هنالك العديد من العوامل التي تؤثر على جاهزية البورون وتحد من قابلية التربة على التجهيز به ومن هذه العوامل : -

لاحظ (Berger & Truoy, 1945) ارتباط جاهزية البورون مع قيم pH اذ وجد أن جاهزية البورون تزداد عند رفع قيم pH التربة من 4.7 الى 6.7 بينما تقل هذه الجاهزية في الـ pH المرتفع (7.1-8.1) . كما لاحظ (Olsen & Berger, 1946) في دراستهم على العوامل المؤثرة على تثبيت البورون ان القلوية لها تأثير كبير في القدرة التثبيتية للبورون بواسطة الترب المختلفة . كما اشار (Overstreet & Deen, 1960) الى ان مسك البورون من قبل التربة يكون قليلاً في الترب الحامضية وسرعان ما يرتفع قوة المسك في مجال من pH (6-10) وتحدث عملية التثبيت للبورون بصورة سريعة وعكسية . كما أوضح (Trouw, 1953) ان كمية البورون الموجودة في التربة على صورة متبادلة تكون قليلة جداً وسرعان ما تتغير الى صورة بطيئة او صعبة الصلاحية عند وجود القلوية المعتدلة وقد تتحول الى صورة معتدلة الصلاحية أو جاهزة وذلك في وجود القلوية المرتفعة . وقد اكدت الدراسات التي قام بها (Doneen et al. 1968) حدوث نقص في البورون الذائب مع زيادة الكمية المثبتة في التربة بزيادة درجة تفاعل التربة .

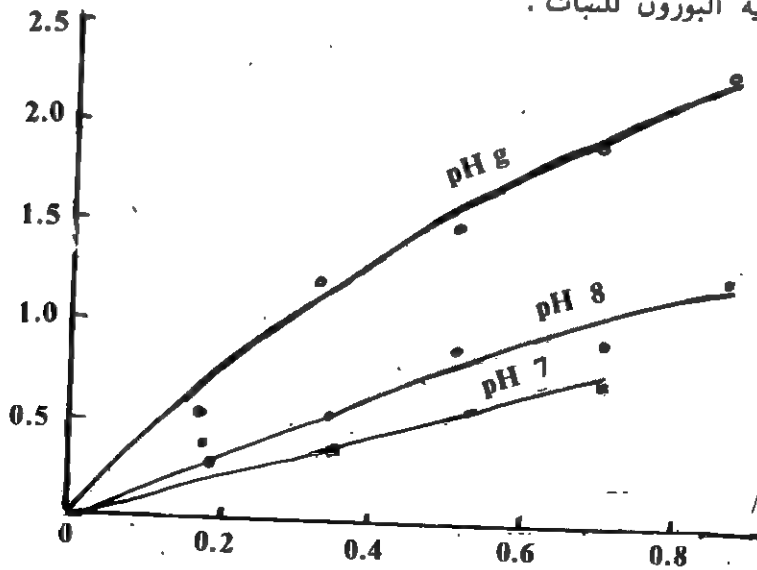
وتتأثر طبيعة الصورة السائدة في محلول التربة pH التربة وتعتبر صورة حامض البوريك المتعادلة هي السائدة حتى $pH = 9.2$ ولهذا فان اضافة الاسمدة التي تحتوي على البورون مثل اسمدة البوركس ($B_4O_7^{2-}$) قد تتحلل في النهاية الى حامض البوريك . أما الصورة $H_2BO_3^-$ فإنها تسود في محلول التربة في ظروف القلوية العالية (pH اكبر من 9.2) وان تركيز $[H_2BO_3^-]$ يزداد مع ارتفاع pH

التربة (الشكل 1). وقد حدد (Lucas & Knozek, 1972) المدى الأمثل لجاهزية البورون عند درجة تفاعل (6-6.8) لمعظم النباتات .



الشكل (1) العلاقة بين pH الوسط وأذابة صور البورون في محلول التربة (Lindsay).

وقد درس (Keren et al, 1985) العلاقة بين الكمية النشطة من البورون في محلول التربة والكمية الممدصة بواسطة التربة عند قيم pH مختلفة (الشكل 2). وان زيادة pH التربة يؤدي الى زيادة احتصاص البورون وهذا يؤثر أيضاً على جاهزية البورون للنبات .



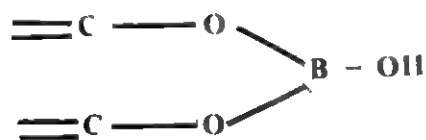
الشكل (2) العلاقة بين الكمية النشطة من البورون في محلول التربة والكمية الممدصة على سطح التربة عن قيم pH مختلفة .

وقد اكد (Wear et al. 1962) ان زيادة pH التربة يؤدي الى خفض في كمية البورون الممتصة وكذلك الذائبة في محلول التربة .

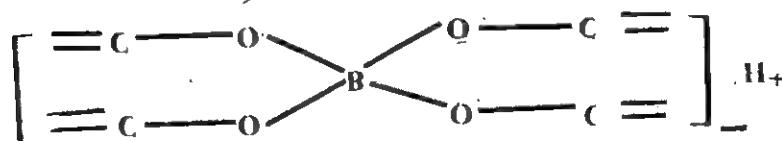
2- تأثير المادة العضوية

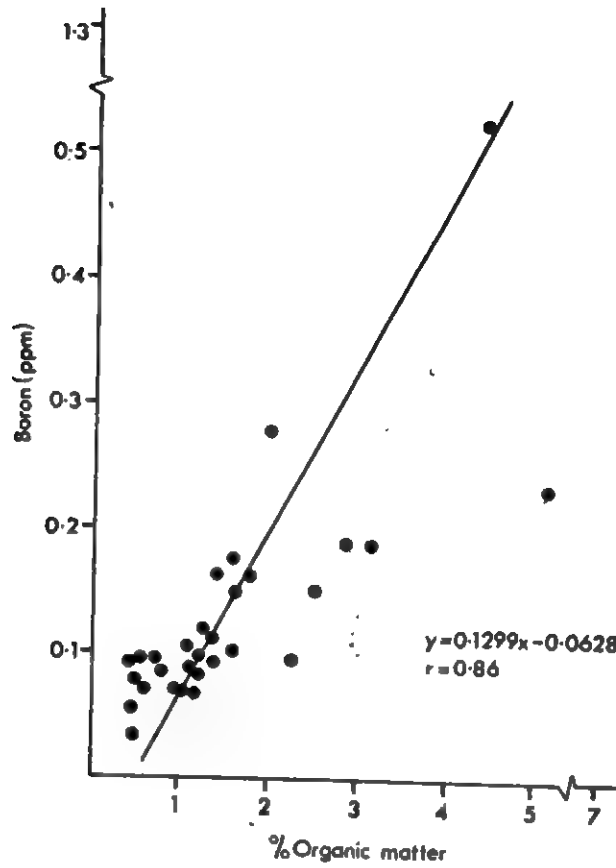
تلعب المادة العضوية دوراً رئيسياً بالتأثير على جاهزية البورون فقد أظهرت الدراسات التي قام بها (Woodbridge, 1940) وكذلك (Coleman, 1945) ببعض ترب المناطق الرطبة بأن البورون الجاهز يمسك بواسطة الجزء العضوي . وأشار كذلك (Olsen & Berger, 1946) الى أن اكسدة المادة العضوية بواسطة بيروكسيد الهايدروجين زاد البورون الجاهز وهذا ناتج من تحرر البورون من المادة العضوية ووجد أيضاً أن القدرة التثبيتية للتربة قلت بعد الاكسدة . وقد ذكر (Berger & Trougs, 1945) إن للمادة العضوية تأثيراً اكبر في الترب الحامضية على جاهزية البورون من تأثير الـ pH . وبين (Stepanova, 1944) إن البورون لا يكون مركبات غير ذائبة مع المادة العضوية وبالأخص في الوسط الحامضي جداً عندما يكون الـ pH مساوياً الى 2% فإن 6% من البورون المضاف قد يترسب بواسطة المادة العضوية . وقد لاحظ كل من (Page & Paden, 1954) إن زيادة محتوى الترب الحامضية بالمادة العضوية يؤدي الى زيادة جاهزية البورون (الشكل 3) بسبب تكوين معقدات ذائبة وإن هذا التأثير اكبر من تأثيرات pH التربة وكذلك قوام التربة .

وقد يرتبط البورون بالجاميع الفعالة للمواد الدبالية كالجاميع الكربوكسيلية والهايدروكسيلية مكوناً معقدات عضوية مختلفة بعضها غير ذائبة . وقد ينطلق البورون من معقداته العضوية بعد عملية التحلل بفعل احياء التربة واهم هذه المعقدات هي : -



وكذلك :





الشكل (3) العلاقة بين محتوى الترب الحامضية من المادة العضوية وجاهزية البورون (Page & Paden, 1954)

ويزداد ارتباط البورون بالمجاميع الفعالة مع زيادة محتوى التربة من المادة العضوية وزيادة معدل التحلل وهذا يعني أن لـ pH التربة دوراً مساهماً في زيادة معدل تكوين المعقدات العضوية المعدنية للبورون . ولهذا فإن للمادة العضوية دوراً حافظاً للبورون في التربة المرتفع حيث تقيدته وتمنع حركته وجاهزيته إلا اذا تعرض لعملية التفسخ . أما دور المادة العضوية في الترب الحامضية فانها تساهم في زيادة جاهزية البورون من خلال تكوين معقدات ذائبة .

3- تأثير كاربونات الكالسيوم

لقد أشار (Cook & Miller, 1939) الى أن وجود كاربونات الكالسيوم وكذلك كاربونات المغنيسيوم لها تأثير على تثبيت البورون وعرقلة جاهزيته لحصول فول الصويا ، بينما لا تؤثر كاربونات الصوديوم على الرغم من ارتفاع pH التربة نتيجة للاضافة . وقد يعزى سبب ذلك الى قدرة الكاربونات المذكورة على تثبيت البورون . وقد اوضح (Ferguson & Wright, 1940) أن تثبيت البورون كنتيجة لاضافة الكلس يتم بأحدى الطرق الآتية : -

- (1) تحويل البورون الى صورة قليلة الذوبان .
- (2) مساهمة الكلس في زيادة pH التربة وبذلك يحد من امتصاص البورون من قبل جذور النبات .
- (3) ينشط الكلس نمو الأحياء الدقيقة مما يؤدي الى وجود منافسة بين الأحياء الدقيقة والنباتات على البورون .

وقد اشار (Hatcher et al. 1967) الى أن اضافة الكلس الى تربة حامضية يؤدي الى زيادة امدصاص البورون بمقدار الضعف مقارنة بتلك التربة التي لم يصنف لها الكلس .

وقد أكدت نتائج (Scheffer & Welte, 1955) إن زيادة محتوى التربة من كاربونات الكالسيوم يؤدي الى زيادة اعراض نقص البورون على محصول البنجر السكري (جدول 1) وإن زيادة pH التربة لها نفس التأثير .

وعند دراسة العلاقة بين تركيز الكالسيوم في محلول التربة وجاهزية البورون . وجد (Reeve & Shive, 1944) إن وجود الكالسيوم ادى الى انخفاض سمية التركيزات المرتفعة من مستويات البورون بدرجة ملحوظة وإن نمو النباتات يكون طبيعياً عندما يتواجد ائزان بين الكميات الممتصة من كل من الكالسيوم والبورون . وقد اكد (Jones & Scareth, 1944) هذه العلاقة بين الكالسيوم

والبورون ووضح ان دراسة النسبة بين الكالسيوم الى البورون Ca/B في الانسجة النباتية تعطي مدلولاً دقيقاً عن الاتزان الحيوي لهذين العنصرين في النبات. وقد وجد ان هذه النسبة تبلغ حداً 100:1 في البنجر السكري؛ 1200:1 في التبغ، 500:1 في نباتات فول الصويا. واكد (Fox, 1968) ان التركيز العالي من الكالسيوم أو ارتفاع درجة تفاعل التربة يؤدي الى انخفاض معدل امتصاص البورون.

جدول (1) تأثير pH التربة والكربونات على نسبة عدد النباتات السليمة والميتة والمصابة من محصول البنجر السكري

pH	كربونات %	سليمة	مصابة	النسبة المئوية لمحتوى البنجر السكري ميتة
6.7	0.1	100	0	0
7.0	0.1	99	1.0	0
7.5	0.3	46	40	14
8.1	14.4	0	25	75

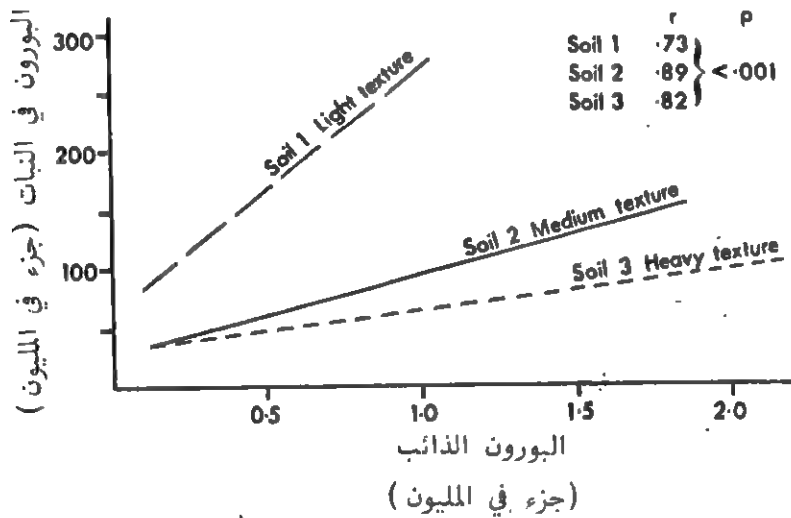
4- تأثير اكاسيد الحديد والالمنيوم

يتعرض البورون المضاف بواسطة مياه الري أو كأسمدة الى امدصاص بواسطة اكاسيد الحديد والالمنيوم. فقد اشار (Hatcher et al 1967) في دراستهم على امدصاص البورون الى أن غرويات التربة مثل هايدروكسيد الالمنيوم هي المسؤولة عن مسك ايون البورون بالتربة. في حين اكد (Sims & Bingham, 1967) إن سبب احتفاظ المعادن السيليكاتية للبورون يكون نتيجة لوجود مركبات الحديد والالمنيوم الموجودة في التربة. كما بين الباحثان نفسهما (1968) أن امدصاص البورون على اكاسيد الحديد والالمنيوم هما اهم ميكانيكية تحكم ذوبان البورون في الترب الحامضية.

5- تأثير نسجة التربة = - - - -

لقد أوضح (Berger, 1949) إن الترب الخفيفة النسجة الواقعة في المناطق الرطبة تحوي على كميات أقل من البورون الجاهز في طبقة الحرث مقارنة بالترب

الغرينية والطينية المزيجية الخفيفة الحموضة . وقد بين (Kubota et al. 1949) إن الترب الرملية تحتوي على بورون جاهز بكميات أقل مما تحتويه الترب ذات القوام الثقيل وإن تأثير النسجة يكون أقل في تأثيره على جاهزية البورون اذا قورن بكل من المادة العضوية والـ pH . وقد اوضح (Laucas & Knezek, 1977) إن الترب الخشنة النسجة وذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية تميل الى امتلاك البورون الجاهز بكمية قليلة . والنتائج التي توصل اليها (Wear & Patterson, 1962) تؤكد أن محتوى نباتات الحت من البورون تكون عالية اذا زرع في تربة رملية بالمقارنة مع محتوى النباتات المزروعة في تربة ناعمة النسجة (الشكل 4) . وهذا يؤكد طبيعة العلاقة بين امتصاص البورون من قبل النبات ونسجة التربة وكذلك حركة البورون العالية في الترب الخشنة النسجة بالمقارنة مع حركته في الترب الناعمة . ولهذا السبب نجد أن محتوى الترب الرملية من البورون الجاهز أقل من محتوى الترب ذات القوام الثقيل التي تحتفظ بالبورون وتقيد حركته .



الشكل (4) العلاقة بين البورون الذائب في محلول التربة ومحتوى النبات من البورون النامي في ترب مختلفة النسجة .

6- تأثير الرطوبة

بصورة عامة فإن جاهزية البورون تقع عند ظروف الجفاف فقد وجد (Olsen, 1947) أن تجفيف التربة بعد اضافة البورون يزيد من كمية البورون المثبتة وان هذه الزيادة تكون كبيرة في الترب الكلسية مقارنةً بالترب غير الكلسية وعند

تجفيف التربة على درجة 60°م كانت الكمية المثبتة اكبر من الكمية المثبتة عند درجة 20°م . وقد اكد كل من (Barbier & Cabannes, 1955) ان تثبيت البورون يحدث بدرجة كبيرة في الترب الطينية عند تعرضها لعمليات الترتيب والتجفيف المتعاقبة ووجد ايضاً (Metwally et al. 1974) زيادة السعة الامدصاصية لمعلقات هايدروكسيد الحديد والالمنيوم والسيليكا عند اضافة البورون اليها وذلك من خلال تعرضهم لعمليات الترتيب والتجفيف . وبهذا يمكن القول بأن البورون يرتبط بقوة بغرويات التربة في المناطق الجافة الاستوائية وشبه الاستوائية وقد اكد هذا كل من (Page & Paden, 1954) و (Tollenaar, 1966) .

البورون ونمو النبات

يتمص البورون من قبل النباتات بهيئة حامض البوريك وابن ميكانيكية الامتصاص غير واضحة لحد الآن . ويعتبر عنصر البورون مهماً في تغذية النبات لمساهمته في تكوين البروتين والاحماض النووية وكذلك لمساهمته في العمليات الحيوية التي يشترك بها الفسفور . لذا فإن نقص البورون يؤدي الى تجمع النترات في النبات ويؤثر ايضاً على الانتاج . ان وفرة المستوى المناسب الجاهز في البورون يساعد على زيادة الانتاج من خلال زيادة تمثيل صورة النايروجين المعدنية الممتصة الى صور عضوية وكذلك زيادة مساهمة الفسفور في زيادة نشاط العمليات الحيوية التي يشترك بها . فقد اشار (Mortved & Osborn, 1965) الى ان نمو الشوفان قد يتأثر عند اضافة تركيزات عالية من البورون (بين 2-5) جزء بالمليون وان أقصى تأثير ظهر بصورة واضحة عند تركيز (10) جزء في المليون وذلك عند غوها في ترب -ر . تفاعلها (pH = 6.3) ومضاف اليها الكلس . تتطابق هذه النتائج مع ماذكره (Gupta, 1970) من حدوث زيادة في محصول المادة الجافة لنباتات البرسيم وكانت الزيادة واضحة حتى مستوى (1) جزء في المليون بينما انخفض في التركيزات المرتفعة من (4 ، 8) جزء في المليون وفي دراسته على نباتات الحنطة والشعير (Gupta, 1971) ذكر ان محصول المادة الجافة يزداد لكل منها بزيادة مستويات الاضافة حتى (1) جزء في المليون . كما وجد (Abbaas, 1977) ان زيادة كمية البورون الجاهز الى حد (1) جزء في المليون يؤدي الى زيادة الانتاج ولكن تنخفض الانتاجية عند اضافة 2 جزء في المليون . وهذا يتفق مع ماذكره (Murtatha, 1982) عند دراسته لاستجابة نباتات الشعير المزروع في الترب العراقية للاضافات المتزايدة من البورون إذ اكدت النتائج ان استجابة النباتات النامية كان اكبر مايمكن عند مستوى اضافة (1) جزء في المليون وقلة استجابتها في مستويات الاضافة المرتفعة (3 ، 5) جزء في المليون .

اعراض نقص وسمية البورون

يعتبر عنصر البورون غير متحرك داخل النبات لذا فإن اعراض النقص تظهر في الاوراق الحديثة. إن نقص البورون يؤدي الى عدم اكتمال البروتين وتكوين الازهار والنضج يتأخر وكذلك يؤثر على تطوير الجذور والاوراق القديمة تكون هشة وفي طريقها للموت. وان نقص البورون يعرقل تكوين السنابل في محاصيل الحبوب. وتتلون الاوراق الحديثة التي تعاني من النقص بلون أخضر - مزرق مائل للأسوداد وتمتاز بزيادة سمكها وعدم انتظام عموها. وقد لاحظ (Chapman, 1975) ان أنواع الترب التي قد يكثر فيها اعراض نقص البورون اثناء زراعتها هي :-

- (1) الترب ذات المحتوى المنخفض من البورون كما هو الحال في الترب المشتقة من الصخور النارية الحامضية أو الرواسب المتكونة حديثاً كما أشار بذلك (Mitchell, 1955).
- (2) الترب ذات الطبيعة الحامضية والتي فيها جزء كبير من البورون الاصلي قد فقد خلال عمليات الغسيل كما أشار بذلك (Walsh & Golden, 1952).
- (3) الترب الرملية الخفيفة كما اشار بذلك (Page & Paden, 1954).
- (4) الترب العضوية أو peat الحامضية كما اشار بذلك (Chapman & Mackay, 1957).
- (5) الترب القلوية وبصفة خاصة تلك الترب الخالية من ال lime كما اشار بذلك (Olsen & Berger, 1947).
- (6) الترب التي تروى بمياه ذات محتوى منخفض من البورون التي توجد فيها الاملاح أو يحدث ترسيب للكاربونات كما اشار بذلك (Roach & Bolas, 1940).
- (7) الترب ذات المحتوى المنخفض من المادة العضوية كما اشار بذلك (Wallace, 1951).

وتختلف قدرة المحاصيل الزراعية لحساسيتها لنقص البورون. فقد صنفت المحاصيل الزراعية الى ثلاث مجاميع وفقاً لقدرتها على الصمود لمقاومة تأثير التركيزات الواطئة من البورون. فمحصول البنجر السكري والبقوليات واشجار الفاكهة تعتبر من المحاصيل الحساسة جداً لنقص البورون. وفي نفس الوقت فإن احتياج هذه المحاصيل للبورون يكون عالياً. في حين يكون احتياج محاصيل الحبوب وبعض البقوليات وكذلك الحمضيات قليلاً جداً للبورون أما محاصيل البصل والتبغ والبطاطا والقطن والبطاطا فإنها متوسطة الاحتياج. وقد اشار (Martin

(Matocha, 1973 &) الى ان الحد الحرج لاحتياج معظم المحاصيل الزراعية من البورون يقع بين 10 الى 25 جزءاً في المليون . في حين اشار (Syworotkin, 1958) الى اختلاف محتوى النباتات من البورون (جدول 2) .

جدول (2) محتوى مختلف النباتات من البورون (بورون - جزء في المليون من المادة الجافة) .

اسم المحصول	المحتوى	اسم المحصول	المحتوى
البرسيم	25-40	التبغ	20-30
الشعير	2-4	الطاطا	15-25
الذرة الصفراء	4-10	الحنطة	3-5
البطاطا	10-20	البنجر السكري	20-50

ان زيادة تركيز البورون بالتربة يؤدي الى زيادة امتصاصه وبالتالي ظهور اعراض السمية التي تتمثل بأحترق في قمم الاوراق وظهور اللون الاصفر الشاحب الذي ينتشر بين العروق الجانبية متجهة الى العرق الوسطي . وتنتشر في الترب المبينة ادناه خصائصها اعراض السمية على النباتات النامية بها :

- (1) الترب المشتقة من الرواسب البحرية كما اشار بذلك (Penmand & Mcalpin, 1949) .
- (2) ترب المناطق الجافة كما اشار بذلك (Whetston et al, 1942) .
- (3) الترب المشتقة من مادة اصل غنية بالمعادن الحاوية على البورون كما اشار بذلك (Graham, 1957) .
- (4) الترب المشتقة من الرواسب الجيولوجية الحديثة كما اشار بذلك (Picruccini, 1950) .

تكثر اعراض السمية في المناطق الجافة بالأخص عندما تروى بماء ري يزيد تركيز البورون عن (1) جزء في المليون وان محتوى المادة الجافة المصابة بالتسمم قد يصل الى حدود اكثر من 100 جزء في المليون وقد يصل محتوى بعض الحشائش المصابة باعراض السمية الى حدود 270 الى 570 جزء في المليون .

ويمكن معالجة نقص البورون باضافة أسمدة البورون المختلفة (جدول 3) ويعتبر السباد بورات الصوديوم من اكثر الاسمدة شيوعاً في معالجة نقص البورون وان

الطريقة الشائعة في المعالجة هي الرش او الاضافة المباشرة للترب والتي تقع بمحدود 0.24-2.4 كغم بورون / هكتار حسب الحاجة . وقد وجد (Foroughi et al. 1973) ان الكمية من 50 الى 200 غرام بورون لكل شجرة تكون مناسبة لتصحيح اعراض نقص البورون في اشجار البرتقال عند الاضافة الى التربة مباشرة وإن الكمية من 15 الى 60 ملغم بورون لكل شجرة تكون مناسبة لتصحيح اعراض نقص البورون عند الاضافة بطريقة الرش .

جدول (3) اسمدة البورون ومحتواها (Gupta, 1979) .

اسم السماد	الصيغة	محتوى البورون (%)
بورات الصوديوم (Borax)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11
حامض البوريك (Boric acid)	H_3BO_3	17
صوديوم تترابوريت (Sodium tetraborate)	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	14
صوديوم بنتابوريت (Sodium pentaborate)	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	18
بورات - 65 Borate-65	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	20

ويمكن معالجة زيادة تركيز البورون في الترب ، ففي حالة ارتفاع محتوى البورون في مياه الري فإنه يتم إيجاد مصدر مائي آخر ذي محتوى منخفض من البورون او تتم زراعة المحاصيل التي تتحمل التركيزات المرتفعة من البورون . ويمكن معالجة زيادة تركيز البورون ايضاً باستخدام الاسمدة النايروجينية وبصفة خاصة نترات الكالسيوم اذ تمتاز بكفاءة في معالجة سمية البورون . كما ان اضافة الجير بكميات معتدلة الى التربة يساعد في معالجة اثار السمية بفعالية .

3- الموليبدنيوم Molybdenum

يعتبر الموليبدنيوم من العناصر الغذائية الصغرى والمهمة في تغذية النبات . فقد وجد هذا العنصر في التربة وانسجة النبات . ويعتبر (Meullen, 1932) اول من اكتشف وجود كميات من هذا العنصر في التربة والنبات . ومن خلال نتائج

اختبار (Arnon & Stout, 1939) على استجابة محصول الشعير والبطاطة يتم تحديد أهمية هذا العنصر في تغذية النبات . وقد أيد (Piper, 1940) بعد تجربة قام بها على محصول الشوفان أهمية هذا العنصر كعنصر غذائي يعتبر عنصر المولبيديوم ضرورياً لتثبيت النايروجين الجوي للبكتريا التكافلية مع النباتات البقولية (Evans et al., 1950) في حين اشار كل من (Mulder, 1948) و (Wilson, 1948) الى ان عنصر المولبيديوم يكون ضرورياً لاختزال النترات في النباتات غير البقولية . في حين اشار (Miller, 1955) الى ضرورة وجود المولبيديوم في النبات لأجل تمثيل النترات وتحويلها الى احماض امينية وبروتينات .

المولبيديوم في التربة

يوجد عنصر المولبيديوم بكميات قليلة في التربة فقد ذكر (Bear, 1965) بان معدل ما تحتويه القشرة الارضية بشكل 2.3 جزء في المليون في حين اشار (Wodephi & Turekian, 1961, Kovda, 1964) بأن معدل ما تحتويه القشرة الارضية يتراوح من 1-2 جزء بالمليون . و اشار (Evans, 1951) الى أن الصخور الحامضية تحتوي على كميات من المولبيديوم اكثر مما تحويه الصخور القاعدية . في حين وضح كل من (Aubert, 1976; Charles, 1955) بان محتوى الصخور النارية على العموم اكثر من محتوى الصخور المتحولة والرسوبية . وقد اشار (Pines, 1963) الى ان الترب المختلفة النسجة تحتوي على كميات مختلفة من المولبيديوم فقد بين (Evans & Purivs, 1951) بأن معدل ما تحتويه الترب كان 1.44 جزءاً في المليون بحيث تراوحت الكميات من 0.8 جزء في المليون في الترب الرملية الى 3.3 جزء بالمليون في الترب المزيجة كما ان الظروف المناخية تلعب دوراً في محتوى الترب من المولبيديوم ، فقد اشار (Aubert, 1976) الى ان ترب المناطق القاحلة وشبه القاحلة تمتاز بكونها ذات محتوى عالي من المولبيديوم كما ان الترب الملحية تمتاز بكونها غنية بالمولبيديوم الكلي .

صور المولبيديوم في التربة

يوجد المولبيديوم بعدة صور تمثل مجموعها المولبيديوم الكلي وهي : -

1- صور المولبيديوم في المعادن

يوجد المولبيديوم على شكل معادن أولية في الصخور واهم هذه المعادن

الآتي : -

1- Molybdate powellite (CaMoO_4)

2- Molybdenite (MoS_2)

3- Ferromolybdenite ($\text{Fe}_2\text{MoO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)

4- Wulfenite (PbMoO_4)

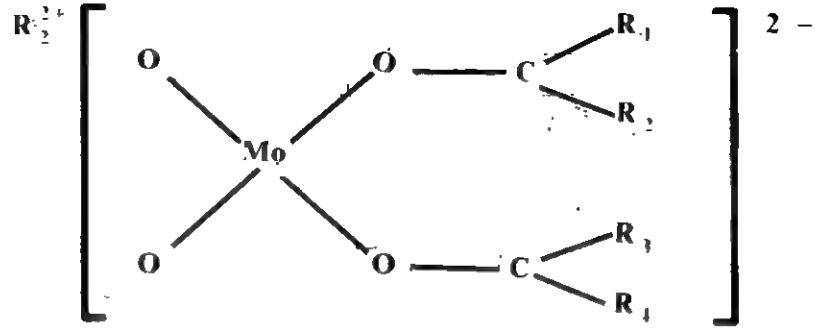
وقد ينتشر في بعض المعادن الترابية نتيجة للاحلال المتأثر بين ايون الموليبدنيوم (Mo^{4+}) وايون الالمنيوم (Al^{3+}). ولهذا نجد الموليبدنيوم في معادن الفلسبار والميكا.

2- صور الموليبدنيوم المدص (المتز)

يمدص عنصر الموليبدنيوم على أسطح معادن الطين من خلال روابط كيميائية . وتعتبر الصورة المدصة جاهزة للنبات . وكذلك يمدص عنصر الموليبدنيوم في الترب الحامضية بواسطة الاكاسيد الحرة مثل اكاسيد الحديد وإن قوة الربط بين الأثنين كبيرة ، أي أن قوة الربط تعرقل جاهزية الموليبدنيوم ولهذا يعتبر امدصاص هذا العنصر بواسطة اكاسيد الحديد حالة تثبيت وعرقلة للجاهزية . وقد اوضح (Jones, 1957) وكذلك (Mikhailov, 1962) إن ارتباط الموليبدنيوم بأكاسيد الحديد يؤدي الى تكوين مركب ferromolybdate الذي قد يتحول الى اكاسيد معدنية للحديد مثل goethite و haematite يحل بها ايون (Mo^{4+}) محل بعض ايونات الحديد (Fe^{3+}). ولهذا يضيف الموليبدنيوم المدص بأنه غير جاهز للنبات .

وقد يرى بعض الباحثين ضرورة تقسيم صور الموليبدنيوم المدص الى قسمين :
(1) المدص بصورة متبادلة على المعقد الغروي وهذه الصورة اكثر جاهزية .
(2) الموليبدنيوم المدص بواسطة الاكاسيد الحرة ، كأكاسيد الحديد ، وهذه الصورة أقل جاهزية بسبب سرعة التداخل بين الأثنين وتكوين معقدات قليلة الذوبان .

وقد يرتبط عنصر الموليبدنيوم مع المادة العضوية مكوناً معقدات عضوية غير جاهزة للنبات بالأخص مع حوامض الدباليك humic acid . وقد اكد (Manskaya & Drosdova, 1968) إن التفاعل بين المادة العضوية بهيئة حوامض الدباليك وعنصر الموليبدنيوم يكون معقدات غير ذائبة . في حين اشار (Spengler & Gansheimer, 1957) الى أن التفاعل مع المكونات العضوية التي تحتوي على مجاميع هايدروكسيلية يكون معقدات عضوية ذائبة وإن التركيب المقترح ليمثل صيغة التفاعل هو الآتي

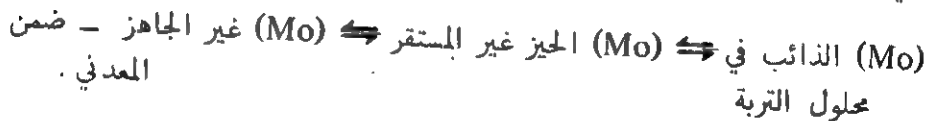


ولهذا فإن امدصاص الموليبدنيوم في الترب الرديئة التهوية مع المادة العضوية ومكوناتها ونواتجها مثل الفينول والكحولات والاحماض العضوية يزيد من جاهزية هذا العنصر بسبب تكوين معقدات ذائبة وذلك لزيادة عدد الجاميع الهايدروكسيلية في الظروف اللاهوائية . وقد يتحد الموليبدنيوم مع المركبات العضوية النايتروجينية مثل البروتين وكذلك مع المواد الكربوهيدراتية كما اشار لذلك (Nelson et al, 1951).

3- الموليبدنيوم الذائب في محلول التربة

إن تركيز الموليبدنيوم الذائب في محلول التربة قليل جداً قد لا يتجاوز (1) جزء في المليون أو أقل . وإن هذا التركيز يرتبط مع pH التربة . وتعتبر صور الموليبدنيوم الذائبة من اكثر الصور جاهزية للنبات .

وقد أشار (Barshad, 1951) الى أن محتوى محلول التربة في مختلف الظروف من الموليبدنيوم الذائب يتراوح بين 0.8 الى 3.9 جزء في المليون . وإن الصورة السائدة هي MoO_4^{2-} والتي ترتبط بحالة توازن مع الموليبدنيوم ضمن الحيز غير المستقر Labile Mo الذي يمثل الصور المدصة والمتبادلة من الموليبدنيوم . ويمكن وصف السلوك الكيميائي للموليبدنيوم وعلاقته مع الذائب في محلول التربة بالمعادلة الآتية :



ولهذا يمكن اعتبار الموليبدنيوم الذائب والصور الواقعة ضمن الحيز غير المستقر هي صور جاهزة للنبات وهذه قد لا تمثل اكثر من 5% من الموليبدنيوم الكلي ، في حين تمثل الصور الداخلة في تركيب المعادن المختلفة ومركبات الموليبدنيوم اكثر من

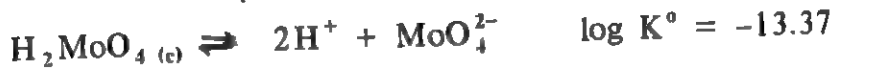
95% من المحتوى الكلي للمولبيدينيوم بالتربة وهي عبارة عن الصور غير الجاهزة للنبات .

العوامل التي تؤثر على جاهزية المولبيدينيوم

سنحاول التطرق الى العوامل التي تؤثر على جاهزية المولبيدينيوم وعلاقة ذلك بأنتاجية المحاصيل الزراعية المختلفة .

1- تأثير درجة حموضة التربة (pH)

سبق أن اشرنا الى الارتباط القوي بين تركيز عنصر المولبيدينيوم في محلول التربة و pH التربة . وقد اشار (Lindsay, 1979) الى أن زيادة pH الوسط وحدة واحدة يؤدي الى زيادة التركيز في المحلول بمقدار 100 مرة . ويمكن إيضاح هذه العلاقة بالآتي :



$$[\text{MoO}_4^{2-}] = \frac{10^{-13.37}}{[\text{H}^+]^2}$$

فلو افترضنا أن pH = 7 فإن

$$[\text{MoO}_4^{2-}] = 10^{0.63} \quad \text{مول / لتر}$$

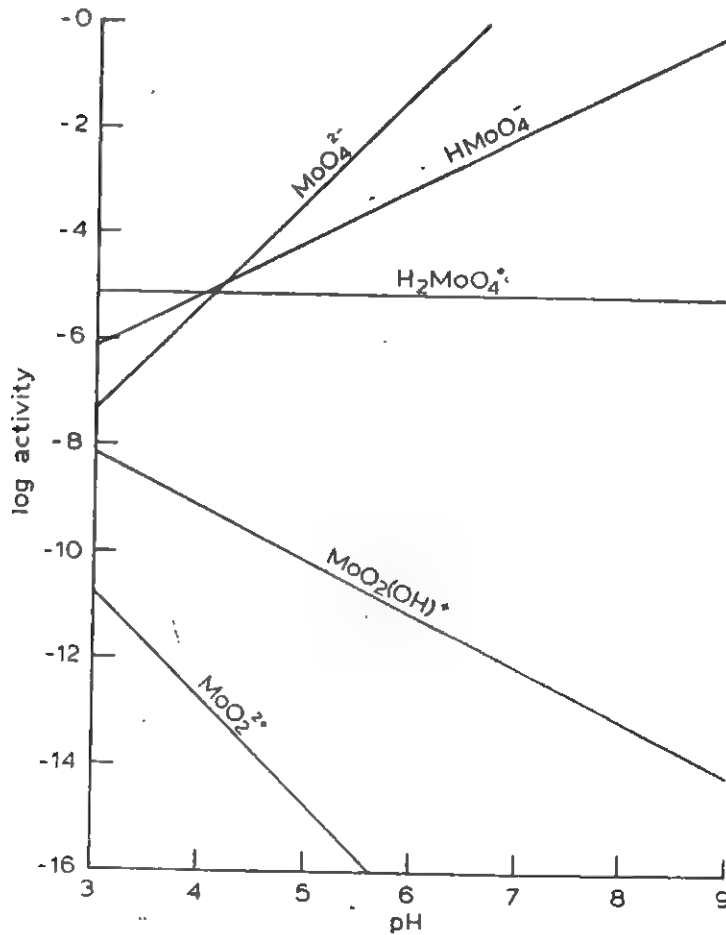
اما اذا كان pH = 8 فإن :

$$[\text{MoO}_4^{2-}] = 10^{2.63}$$

وهذا يعني أن زيادة pH الوسط من 7 الى 8 ادى الى زيادة التركيز بمقدار 100 مرة . ولا تقتصر هذه العلاقة على الصورة MoO_4^{2-} بل على الصورة HMoO_4^- (الشكل 1) ايضاً . في حين لا تتأثر الصورة H_2MoO_4^0 مع تغير pH التربة . وإن اذابة الصور المختلفة في مختلف الظروف يمكن ترتيبها بالآتي :



ونظراً لأهمية الصورة MoO_4^{2-} باعتبارها الصورة المناسبة للامتصاص من قبل النبات فإنه يمكن الاستنتاج بأن جاهزية الموليبدنيوم تكون عالية في الترب القاعدية . وتتفق النتائج التي توصل إليها كل من (Anderson, 1955, Daves, 1951, Evans & Purvis, 1956) مع هذا الاستنتاج . وقد أكد (Reisenar, 1962) إن جاهزية الموليبدنيوم في الترب الحامضية قليل جداً وذلك لتكوين مركبات غير ذائبة . وقد بين (deMooy, 1970) إن إضافة الكلس للترب الحامضية يؤدي إلى زيادة كبيرة في جاهزية الموليبدنيوم .



الشكل (1) العلاقة بين تركيز صور الموليبدنيوم المختلفة في محلول التربة مع الـ pH

لقد أشار (Bhella & Dawson, 1972) إلى أن pH التربة له تأثير كبير على جاهزية وامتصاص الموليبدنيوم من قبل النبات . كما أكد (Stout et al 1951) إن الاستجابة تكون لاضافات أسمدة الموليبدنيوم عالية في الترب الحامضية وإن

اضافة الكلس لهذه الترب يساعد على انطلاق الموليبدنيوم بسبب زيادة درجة تفاعل التربة .

2- تأثير كاربونات الكالسيوم

لكاربونات الكالسيوم دور مهم في جاهزية الموليبدنيوم خصوصاً في الترب الحامضية التي تعاني من نقص في الموليبدنيوم الجاهز وقد يعزى فعل الكلس هنا الى رفع pH التربة مما يزيد من انطلاقه الى مخلول التربة وبالتالي توفره للنبات . لقد اشار (Kavimandan, 1964) الى أن زيادة محتوى التربة من الكلس يؤدي الى زيادة جاهزية الموليبدنيوم .

3- تأثير المادة العضوية

إن محتوى الترب من المادة العضوية يؤثر على جاهزية الموليبدنيوم فقد أشار (Mitchel, 1965) الى أن المعقدات العضوية تملك قدرة احتفاظية عالية للموليبدنيوم . لذا يمكن القول إن الترب ذات المحتوى العالي من المادة العضوية تعاني من نقص الموليبدنيوم وهذا ما أكدته (Gupta, 1971) عندما لاحظ ان اضافة مواد عضوية متحللة من نوع Peat الى تربة Sand Clay Loam ادت الى نقصان كميات الموليبدنيوم المتبادلة وإن معدل نقصان قيم الموليبدنيوم المتبادلة كان اكبر في حالة وجود المادة العضوية واطافة الموليبدنيوم الى التربة مقارنة بالحالة القياسية التي أضيف لها الموليبدنيوم ولكن لم تعامل بالمادة العضوية .

وفي دراسة اجريت من قبل (Baydadi, 1972) لمعرفة تأثير اضافة المادة العضوية على جاهزية الموليبدنيوم في ترب كلسية لاحظ بأن هنالك نقصاناً في المحتوى الجاهز إذ انخفض المحتوى الجاهز من 19.3-29.6% الى 3% بعد اضافة المادة العضوية المكونة من (خليط من قش الحنطة والجت وكسبة القطن) المتحللة خلال فترة شهر .

لقد أوضح (Fleming, 1973) أن جاهزية الموليبدنيوم تزداد في ظروف البزل الرديئة ، وبنفس الوقت فإن محتوى التربة من المادة العضوية تزداد في مثل هذه الظروف بسبب عدم مساهمة احياء التربة في تحلل هذه المواد (جدول 1) . وهذا فإن تخمر المواد العضوية وتكوين الكحولات والمركبات العضوية الأخرى الحاوية على مجاميع الفينولات والهايدروكسيل يؤدي الى زيادة جاهزية الموليبدنيوم بتكوين معقدات ذائبة .

جدول (1) تأثير ظروف البزل على جاهزية الموليبدنيوم

متوسط محتوى الموليبدنيوم (ppm)				
ظروف البزل	الكاربون العضوي %	pH	تربة	نبات
جيدة	4.0	6.5	0.39	3.1
ردیئة	6.4	6.5	0.44	3.9
ردیئة جداً	10.7	6.6	2.36	13.0

4- تأثير كمية معادن الطين ونوعيتها

لمعادن الطين دور كبير في التأثير على جاهزية الموليبدنيوم. فقد اشار (Barshed, 1951) الى ان الهالوسايت والكاؤولينات وجميع انواع الغرويات اللاعضوية تمدص كميات كبيرة نسبياً من الموليبدنيوم من المحلول ووضح بأن الزيادة في عملية الامدصاص تكون في الوسط الحامضي، كما بين (Stout et al. 1951) بأن الموليبدنيوم يمدص بقوة على معدن الهالوسايت المائية Hydrated Halloysite وان ترتيب الغرويات حسب قابليتها على الامدصاص كالآتي:

Ferric oxide >> Hemitite > meta halloysite
Montmoronite >> Kaolinite

5- تأثير التداخل مع الايونات الأخرى

لقد اشار عدد من الباحثين الى أن عنصر الفسفور يشجع امتصاص الموليبدنيوم من قبل النبات (Anderson & Oertel, 1946). وقد بين (Fleming, 1965) بأن تكوين المعقد موليبيدات الفسفور phosphomolybdate السريع التحرك والتمثيل داخل النبات هو العامل المساعد في مساهمة الفسفور في زيادة قدرة النبات على امتصاص الموليبدنيوم. وقد اكد (Walsh et al., 1952) بأن سمية الموليبدنيوم ترتبط مع وجود تركيز عالٍ من الفسفور غالباً.

أما العلاقة بين جاهزية الموليبدنيوم وازدادة الكبريت. فقد لاحظ (Stout et al. 1951) ان اضافة الكبريتات بهيئة $CaSO_4$ الى المحاليل الغذائية والترب قد عرقل امتصاص الموليبدنيوم من قبل النبات وقد فسروا هذه الظاهرة على اساس:

» تنافس ايونات الكبريتات مع الموليبيدات على مواقع الامتصاص على
أسطح الجذور خلال مراحل الامتصاص الاولى « [

وقد أيد (Olesen, 1979) و (Gupta & Munro, 1969) من خلال
تجاربهم الرأي السائد في عرقلة جاهزية الموليبيديوم وامتصاصه مع زيادة مستويات
الكبريتات في التربة .

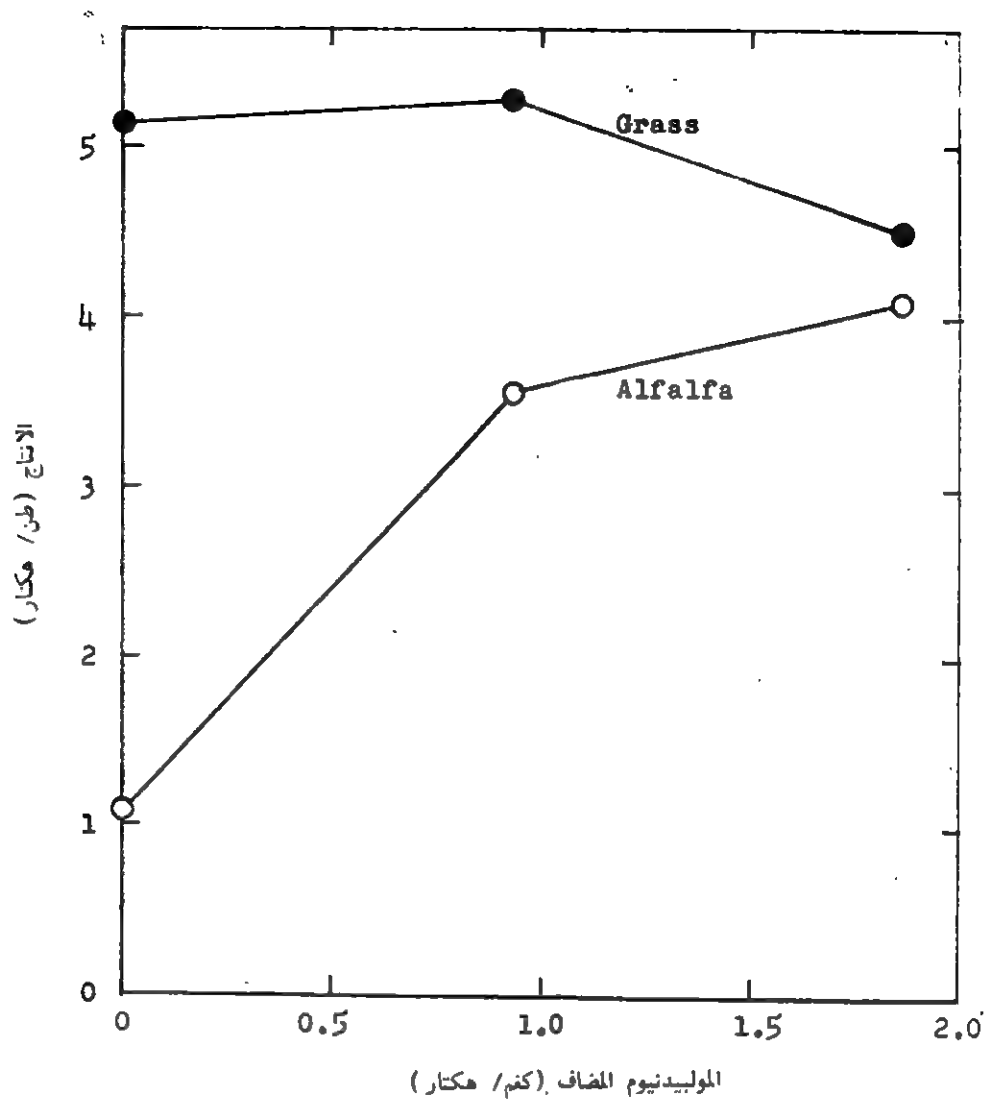
لقد اشار باحثون كثيرون الى التداخل بين الحديد والموليبيديوم في الترب
القاعدية والكلسية . فقد لاحظ (Oleson, 1979) ان نقصان تركيز الحديد في
نبات الذرة البيضاء بسبب زيادة الموليبيديوم الجاهز . كما بين (Berry &
Reisenauer, 1967) كيفية تأثير وجود الموليبيديوم على عرقلة حركة الحديد في
نبات الطماطا .

أما (Alexander, 1959) وآخرون فقد درسوا العلاقة بين ايون الموليبيدات
والكاليسيوم فلاحظوا أنَّ اضافة الكاليسيوم بتراكيز واطئة قد زاد من تركيز
الموليبيديوم وزاد النمو ولكن زيادة مستوى الكاليسيوم المضاف يؤدي الى نقصان في
تركيز الموليبيديوم .

كما لاحظ (Mackay et al. 1966) ان اضافة النحاس يؤدي الى خفض
محتوى النبات من الموليبيديوم . وقد وجد (Johns, 1956) عكس هذه الحالة ،
أي ان اضافة الموليبيديوم أدى الى خفض محتوى النبات من النحاس .

الموليبيديوم ونمو النبات

يعتبر الموليبيديوم من العناصر الغذائية المهمة للنبات ومن خلال الدراسة التي
اجريت على محصول الشوفان النامي في محاليل غذائية تحوي على املاح مغذية نقية
من قبل (Piper, 1940) اثبت وبصورة تجريبية ضرورة وجود الموليبيديوم كعنصر
غذائي اساسي فقد لاحظ انه بوجود البورون والنحاس والمنغنيز والزنك وغياب
الموليبيديوم ظهرت اعراض النقص بشكل بقع على الاوراق في وقت ظهور
البادرات . ان محتوى النباتات المختلفة من الموليبيديوم قليل (أقل من واحد جزء
في المليون) مما يشير الى قلة احتياج النبات الى هذا العنصر على الرغم من اهميته
لختلف العمليات الفسيولوجية داخل النبات . فقد بين (Johnson, 1966) ان
احتياج المحاصيل البقولية من عنصر الموليبيديوم اكثر من احتياج المحاصيل
ال اخرى (الشكل 2-) ، لذا فإن محتوى المحاصيل البقولية يقع بمحدود 0.8-0.3
جزء في المليون في حين يقل محتوى المحاصيل الأخرى عن 0.1 جزء في المليون .



الشكل (2) استجابة الحت والحشائش لاضافات مختلفة من المولبدنيوم (Mulder, 1952).

يتمص عنصر المولبدنيوم على هيئة MoO_4^{2-} ويعتبر هذا العنصر مهماً في نشاط بعض الأنزيمات مثل أنزيم *nitrogenase* وأنزيم *nitrate reductase*. وبهذا فإن لهذا العنصر دوراً هاماً في ميكانيكية تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة أنزيم *nitrogenase* وقد أكد (Bergersen, 1971) ضرورة وفرة عنصر المولبدنيوم والبكتريا المثبتة للنيتروجين ذات المعيشة التكافلية على النبات البقولي كأساس لميكانيكية تثبيت النيتروجين بمساعدة أنزيم *nitrogenase*. وقد أوضح (Becking, 1961) أن نقص عنصر المولبدنيوم يعرقل تثبيت النيتروجين الجوي

وان تجمع Mo في العقد الجذرية عند اضافة الموليبدنيوم يشجع ميكانيكية التثبيت . ولهذا فإن العقد الجذرية تعدُّ هي المركز الرئيسي لتجميع الموليبدنيوم في النبات (الجدول 2) .

جدول (2) محتوى الموليبدنيوم في الاجزاء المختلفة من النبات

الاوراق	السيقان	الجذور	العقد
بوحدّة جزء في المليون من المادة الجافة			
0.27	1.89	2.62	17.3
0.01	0.14	0.24	2.00
اضافة Mo			
بدون اضافة Mo			

وقد اشار عدد من الباحثين الى اهمية عنصر الموليبدنيوم في تنشيط انزيم nitrate reductase الضروري لأختزال النترات في النباتات الى صورة امونيوم (Evans & Aason, 1953) . لذا فإن احتياج النباتات التي تمتص النايروجين بهيئة NO_3^- من الموليبدنيوم اكبر من تلك التي تمتص النايروجين بهيئة NH_4^+ . وقد أوضح (Hewitt & Gundry, 1970) عدم احتياج النباتات الى الموليبدنيوم عندما تجهز بالنايتروجين على هيئة NH_4^+ . وقد اجريت عدة تجارب ساهمت في تأكيد هذه الحقيقة . وان نقص Mo يشجع نقص النايروجين عند تجهيز النبات بالنايتروجين على هيئة NO_3^- (Hagstrom & Berger, 1965) .

اعراض نقص الموليبدنيوم واسلوب معالجتها

إنّ معظم الترب تحتوي على نسبة لا بأس بها من Mo ماعدا التربة ذات pH اقل من 5.5 بسبب زيادة معدل الامدصاص . كما ان محتوى الترب الرملية من الموليبدنيوم قليل بسبب زيادة معدل الفسل . وتعاني الترب العضوية من نقص في Mo الجاهز بسبب زيادة معدل التثبيت . ويمالج نقص الموليبدنيوم بإضافة الأسمدة . فقد استخدم (Scott et al. 1963) أسمدة الموليبدنيوم بمعدل 70 غم Mo لكل هكتار لمعالجة النقص واعطت هذه الكمية استجابة جيدة لفترة سبع سنوات . وعلى الرغم من إختلاف استجابة المحاصيل الزراعية لعنصر Mo (جدول 3) فإن إضافة هذا العنصر بمعدل 0.5-1 كغم Mo / هكتار مباشرة للتربة أو

بطريقة الرش يعالج النقص في مختلف الترب . ومن اهم الأسمدة الشائعة الاستعمال هي المبينة في جدول (4) .

جدول (3) استجابة بعض المحاصيل الزراعية للمولبيدينيوم

عالي	نظام الاستجابة	
	متوسط	قليل
قرناييط	اللهانة	الشعير
البرسيم	الشوفان	الباقلاء
أخس	البزاليا	الجزر
السبانخ	البنجر السكري	الذرة الصفراء
	الطماطا	البطاطا
	الحنطة	

جدول (4) اسمدة المولبيدينيوم ومحتواها (Davis, 1980)

اسم السماد	الصيغة	Mo (%)
مولبيدات الصوديوم	Na_2MoO_4	39
مولبيدات الامونيوم	$(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	54
اوكسيدات المولبيدينيوم	Mo_2O_8	66

تعتبر طريقة الرش من اكثر طرق اضافة المولبيدينيوم لمعالجة النقص في مختلف الترب وبالأخص العالية التثبييت . فقد وجد (Gammon et al. 1954) ان رش 1.9 غم لكل لتر لكل هكتار من المولبيدينيوم بهيئة مولبيدات الامونيوم يعالج نقص هذا العنصر الظاهر على محصول القرناييط . في حين وجد (Stewart & Leonard, 1952) ان إضافة 0.06 غم Mo / لتر لكل شجرة ساعد على معالجة نقص اشجار الحمضيات . في حين وجد (Hagstrom & Berger, 1965) ان

استجابة النبات لاضافة Mo بطريقة الأضافة المباشرة مع البذور وكمية من الرطوبة ومعدل 0.14 كغم موليبيدات الصوديوم لكل هكتار تعطي نفس التأثير الفعال للاضافة بطريقة الرش عند اضافة نفس المستوى .

تظهر اعراض الموليبيديوم في الاوراق القديمة إذ تتلون باللون الاصفر أو الأخضر المشحوب بالصفرة . كما يؤثر نقص الموليبيديوم على تكوين الازهار ويعمل على تكوين اوراق صغيرة الحجم وقد تكثر بعض البقع الصفراء على سطح اوراق النباتات . ويؤدي نقص Mo الى خفض محتوى النبات من البروتين كما يقلل محتوى النبات من فيتامين C .

قائمة المصادر

- 1- Abbaas, F.M. (1977) M.Sc. THesis Baghdad University.
- 2- Abd- Elrazak, H. (1975) Hp.D. Thesis. Assiut Univ.
- 3- Akas, M. and van Egmond, F.V.A.N. (1980) Soil & Fertilizers 43: 1:601.
- 4- Al-Anie; Naji, T.; Abd-Egawad, M. and Naji, T. (1977) Iraqi J. Agric. Sci. 12: 124-136.
- 5- Alexande, A.G. (1959) Amer. Hort. Soc. Proc. 74: 607-615.
- 6- Anderson, A.S. (1955) Adv. Agron. 8: 163-202.
- 7- Anderson ,A.S. and Oertel, A. (1946) Aust. Concil Sci. Incl. Res. Bull. 198: 24-44.
- 8- Arnon, D.I. and Stout, P.R. (1939) Plant Physiol. 14: 599-602.
- 9- Ayed, I.A. (1970) Plant & Soil 32: 18
- 10- Barashad, I. (1951) Soil Sci. 71: 297-313.
- 11- Bear, E. (1929) Theory & Practice in use of fertilizer. John Wiley & Sons.
- 12- Becking, J.H. (1961) Plant & Soil 12: 60-65.
- 13- Berger, K.C. (1949) Adv. Agron. 1: 321-351.
- 14- Berger, K.C. and Truoy, E. (1945) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 10: 113-116.
- 15- Berry. J.A. and Reisenauer, H.M. (1967) Plant and Soil 27: 303-313.
- 16- Bolle-Jones, E.W. (1955) Plant & Soil 6: 45-60.
- 17- Bonnet, J.A. (1947) Soil Sci Soc. Am. Proc. 11: 295-297.
- 18- Boxma, R. (1972) Plant & Soil 37: 233-243.
- 19- Brown, J.C. (1956) Ann. Rev. Plant Physiol. 7: 171-190.
- 20- Brown, J.C., Holmes, R.S. and Specht, A.W. (1955) Plant Physiol. 30: 457-462.
- 21- Brown, J.C. (1980) Soil & Fertilizers 2: 43-116.
- 22- Burleson, C.A. and Gunnigham, H.C. (1963) Micronurtient-status and needs in the Sourthern regions. vol. 9 No. 3.

- 23- Chapman, E.W. and Mackay, D.C. (1957) Canada Dept. Agr. Expt. Farm. Kentill Scotia, Progr. Rept. 6: 24-25.
- 24- Cheng, B.T, Bourget, S.T. and Duelllette, G.J. (1971) Can. J. Soil Sci. 51:125.-126.
- 25- Cheriam, E.C., Paulsen, G.M. and Murphy, L.S. (1968) Agron. J. 60: 554-557.
- 26- Coleman, R.G. (1945) J. Boil. Sci. 10: 50-56.
- 27- Cook, R. & Miller, C.E. (1939) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 4: 297-301.
- 28- Davies, E.B. (1956) Soil Sci. 81: 209-222.
- 29- Davies, E.B. (1980) Applied Soil Trace elements Wiley. New York.
- 30- de Mooy, C.J. (1970) Iowa. Agron. J. 62: 195-197.
- 31- Dingra, D.R., Manwar, J.S., Bhumble, D.R. and Schge, J.L. (1965) Plant & Soil 44: 511-520.
- 32- Doneen, L.D. (1968) M.Sc. Thesis Utah State Univ. USA.
- 33- Evans, H.J. (1951) J. Amer. Soc. Agron. 43: 70-71.
- 34- Evans, H.J., Purvis, E.R. and Bear, F.E. (1950) 25: 555-566.
- 35- Evans, H.J. and Purivs, E.R. (1951) J. Am. Soc. Agron. 43: 70-71.
- 36- Ferguson, W.M. and Wright, G.E. (1940) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 5: 225-226.
- 37- Fleming, G.A. (1965) Soil Sci. 112: 348-350.
- 38- Fleming, G.A. (1973) In «Chemistry & Bio Chemisttry of Herbage. Eds. Academic Press, London.
- 39- Fox, A. (1968) Soil Sci. 106: 435-439.
- 40- Foroughi, N, Evans, H.J. and Wright, G.E. (1973) 21: 290.
- 41- Gammon, N., Volk, G.M., McCabbin, E.N. & Eddins, A.H. (1951) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18: 302-305.
- 42- Gupta, U.C. (1970) Soil Sci. 19:280.
- 43- Gupta, U.C. (1971) Plant & Soil 34: 249-253.

- 44- Gupta, U.C. & Munro, D.C. (1969) Soil Sci. 107: 114-118.
- 45- Hatcher, J.J., Bower, C.A. & Clark, M. (1967) Soil Sci. 104: 422-426.
- 46- Hagstrom, G.R. and Berger, K.C. (1965) Soil Sci. 99: 52-56.
- 47- Humbert, R.P. (1963) Ph.D Thesis, Assiut Univ. Egypt.
- 48- Jadhar, N.S. and Malewar, G.U. (1980) Soil & fertilizers 43: 3:1939.
- 49- Jhon, D. (1956) N.Z.J. Agric. 92: 84.
- 50- Jhon, E.M. (1967) C.F. Agron. Abst.Washington, D.C. Nov. 5-10.
- 51- Jhon, P. (1976) Plant & Soil 44: 359-365.
- 52- Johnson, C.M. (1960) Molybdenum, P. 286-301. In Diagnostic Criteria for Plants & Soils.
- 53- Jones, L.H.P. (1957) Plant & Soil 8: 315-327.
- 54- Kashirad, A.& Marschner, H. (1974) Plant & Soil 41: 91-101.
- 55- Kavimandan, S.K., Badhe, N.N. & Ballal, D.K. (1964) J. Indian Soc. Sci. 12: 281-288.
- 56- Korda, A. (1964) Sovi. Soil Sci: 12: 1369-1377.
- 57- Kravskopf, K.B. (1972) In «Micronutrient of Agriculture P. 7-40. SSSA. Madison USA.
- 58- Lindsay, W.L. (1972) In Micronutrient of Agriculture. Soil Sci. Soc. Am. Madison USA.
- 59- Lindsay, W.L. (1974) Adv. Agron. 24: 147-153.
- 60- Lindsay, W.L. (1979) Chemical equilibria in Soil. Wiley. New York.
- 61- Lucas, R.E. & Knezek, B.D (1972) In "Micronutrient in Agriculture" P. 265-288.
- 62- Mackay, D.C., Chipman, E.W. & Gupta, U.C. (1966) Soil Soc. Sci. Am. Proc. 30: 755-759.
- 63- Martin, W.E. & Matocha, J.E. (1973) In "Soil Testing & Plant Analysis" Soil Soc. Am. Inc Madison, USA.

- 64- Mc Connell, P. (1922) The agricultural note book. London.
- 65- Mengel, K. and Kirkby, E.A. (1982) Principles of Plant Nutrition. 3rd ed. Bern.
- 66- Metwally, A.I.; Elkobbia, T. and Omer, M.A. (1974) Egypt, J. Soil Sci. 11, 1.
- 67- Meullen, H. (1932) Nature 130: 909.
- 68- Miller, B.F., Lindsay, W.L. & Parsa, A.A. In "Proc. Agric. West. Mangge. Conf. Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
- 69- Mitchell, R.L. (1955) Trace elemats in Scottish Peats. Int. Peat symp. Dublin.
- 70- Mortred, J.J. and Osborn, G. (1965) Soil Sci. Soc. Proc. 29: 187-191.
- 71- Mulder, E.G. (1948) Plant & Soil 1: 94-119.
- 72- Nelsob, K., Richtmger, K. & Hudson, E.S. (1951) J. Am. Chem. Soc 73: 2249-2250.
- 73- Neubert, P.W., Wazidlo, H.P., Vilemeyer, I.; Hundt P. and Bergmann, W. (1969) Pflanzenern. Tena. Berlin.
- 74- Nies, N.P. and Compbell, G.W. (1964) Inters. 53-232. Boron, Metallo Bron Compounds & Borates.
- 75- Noakes, A. & Hood, R. (1961) Boric acid Complexes in Sea Water Research 8: 121-129.
- 76- Dertli, J.R. & Opoku, A.A. (1974) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 597-602.
- 77- Olsen, R.V. and Berger, K.C. (1946) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 11: 216-220.
- 78- Overstreet, R. & Deen, L.A. (1953) In "Mineral Nutrition of Plant. Wisconsin Univ. Press. Madison P. 79-106.
- 79- Page, N.R. & Paden, W.R. (1954) Soil Sci. 77: 427-434.
- 80- Pines, J. (1963) Agric. Pre. 13: 3-8.
- 81- Piper, A. (1940) Inst. Agri, Sci. 6: 162-164.

- 82- Ponnampetuma, F.N. (1978) In Soils & Rice (P. 421-441)
Los Banos, Philippines.
- 83- Rediske, J.H. & Biddulph, O. (1953) Plant Physiol. 28:
567-593.
- 84- Rutland, R.B. (1971) J. Amer. Soc. Hort. Sc. 96: 653-655.
- 85- Satayanarayan, Y. (1958) Ind. Soil Sci. 6: 223-226.
- 86- Scheffer, F. & Welte, E. (1955) Plant Nutrition 3rd ed. P
163. Stuttgart.
- 87- Scott, R.S., Cullen, N.A. & Davis, E.B. (1963) N.Z.J. Agric.
Res. 6: 538-555.
- 88- Sims, J.R. and Bingham, F.T. (1967) Soil Sci. Soc. Am.
Proc. 31: 728-731.
- 89- Solov, E.V.G.A. Goluben, M.V. (1980) Soil & Fertilizers 3:
1946.
- 90- Spengler, G. & Gansheimer, J. (1957) Angew. Chem. 69:
532.
- 91- Stepanova, M.D. (1974) Soil Sci. 6: 907-712.
- 92- Stewart, I. & Leonard, C.D. (1952) Nature 170: 714-715.
- 93- Stout, P.R., Meagher, W.R., Person, G.A. and Johnson,
C.M. (1951) Plant & Soil 3: 51-87.
- 94- Swain, D.J. (1955) Bureau. Soil Sci. Tech. Comm No. 48.
- 95- Syworolkin, G.S. (1958) The boron Content of plant with
alate system.
- 96- Taj-Aldin, M.M. (1979) M.Sc. Thesis, Baghdad Univ.
283-288.
- 97- Tayel, M.Y. (1964) M.Sc. Thesis Ain Shams Univ. Cairo.
- 98- Thomas, J.D. & Mathers, A.C. (1979) Agron. J. 71:
792-794.
- 99- Tiffin, L.O. & Brown, J.C. (1961) Plant Physiol. 36:
710-714.
- 100- Tiffin, L.O., Brown, J.C. & Krause, R.W. (1960) Plant
Physiol. 35: 352-367.
- 101- Tiffin, L.O. & Brown, J.C. (1959) Science 130: 274-275.

- 102- Tisdal, S.L. & Nelson, W.L. (1975) Soil fertility & fertilizers 3rd ed. New York.
- 103- Trollidenier, G. (1973) Plant & Soil 38: 267-279.
- 104- Trough, E. (1948) Soil Sci. 65: 1-8.
- 105- Trough; E. (1953) Soil as amedium of Plant growth. Madisón.
- 106- Wallace, T. (1951) The diagnosis of mineral deficiences in plant by Visual Sy mptoms.
- 107- Walsh, T., Neenan, M. & O'Moore, L.B. (1959) J. Dep. Agric. Repub. Ire. 48: 32-43.
- 108- Walsh, T. & Golden, J.D. (1952) Inter. Soc. Soil Sci. Trans. 11: 167-171.
- 109- Wear, J.I. & Patterson, R.M. (1962) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 344-346.
- 110- Wear, J.L. & Patterson, R.M. (1962) Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 344-346.
- 111- Whetston, R.R., Robinson, W.O. and Byers, H.G. (1942) U.S. Dept Agr. Tech. Bull. 797.
- 112- Wilson, J. (1948) Agro. J. 43: 363-367.
- 113- Woodbridge, C.G. (1940) Adv. Agron 1: 321-351.

الفصل الثامن

الأسمدة وتسميد المحاصيل الزراعية

المقدمة

سبق أن اوضحنا ان النبات النامي يحتاج الى عناصر غذائية مختلفة لكي يكمل دورة حياته وان معظم هذه العناصر الغذائية يأخذها من التربة اذا استثنينا الاوكسجين والكاربون والهيدروجين . وبسبب زراعة الاراضي سنة بعد اخرى يستنفذ النبات معظم العناصر الموجودة فيها فتصبح الارض فقيرة ويقل الحاصل لدرجة قد يصبح غير اقتصادي . والعادة المتبعة ، كما سبق الاشارة اليها لدى معظم المزارعين العراقيين لتخفيف هذا التدهور في الاراضي الزراعية هو استعمال الاسمدة الحيوانية أو زراعة الارض سنة وتركها السنة الاخرى بدون زراعة . ولكن الحاجة الى زيادة انتاج المحاصيل الزراعية بشكل يسد جميع منافذ النقص في الغذاء دون الاعتماد على سياسة الاستيراد للمنتجات الزراعية وكذلك الحاصلات الزراعية المختلفة تدعو الى ضرورة معالجة مشكلة زراعة الارض سنة وتركها سنة اخرى والعمل على استغلال اكبر مساحة ممكنة من الاراضي الزراعية واتباع الزراعة الكثيفة في البلد للعمل على زيادة الانتاج وقد لا يقتصر هذا الامر على العراق فحسب بل ان مشكلة نقص الغذاء والزيادة الكبيرة في عدد سكان العالم والرغبة في توفير الغذاء لختلف سكان العالم تدفع المختصين في العلوم الزراعية ومنذ بداية القرن الحالي الى القيام بالعديد من البحوث الزراعية لأبتكار افضل السبل لزيادة الانتاج الزراعي . وكان لصناعة الأسمدة الكيماوية دور فعال في المساهمة في زيادة الأنتاج الزراعي بالإضافة الى تطوير المجالات المختلفة كأختيار الاصناف الجيدة وتربيتها واستخدام الوسائل المتعددة في تحسين خواص التربة الفيزياوية والكيمياوية واستخدام المكائن والآلات الزراعية ومكافحة الآفات الزراعية .

سنحاول في هذا الفصل القاء الضوء على أنواع الاسمدة وخصائصها وسنركز على الأنواع التي لم يسبق تناولها في الفصول السابقة فقط تجنباً للتكرار قدر الامكان ولا بد أيضاً من دراسة العوامل الواجب مراعاتها عند اجراء عملية التسميد وكذلك كمية اضافة بعض الاسمدة للمحاصيل الزراعية المختلفة ومواعيدها وطرائقها .

الاسمدة المعدنية والعضوية

1- الاسمدة المعدنية Mineral fertilizers

يطلق على هذه الاسمدة اسم الاسمدة الكيماوية المعدنية وتأتي اهميتها في تعويضها السريع للنقص الموجود في التربة من العناصر الغذائية المهمة للنبات . فهي عبارة عن املاح عناصر معدنية مختلفة . ولهذا فان الاسمدة المعدنية تمتاز بقدرة التحكم في نوع العناصر المراد اضافتها الى التربة وكميتها لتعويض اي نقص بالاضافة الى سهولة استعمالها للنبات وبكونها تحتوي على نسبة عالية من العناصر الغذائية وانها سريعة الذوبان والتحلل في الماء .

ان مصادر الاسمدة المعدنية الشائعة نوعان طبيعي كصخور الفوسفات وكيماوي وهذا هو الذي يصنع في المعامل وفقاً لتحديد بها نسبة محتوى السماد من العنصر . والاسمدة الكيماوية المعدنية انواع هي الاسمدة الكيماوية الفردية ، اي التي تحتوي على عنصر غذائي واحد او قد يهدف من اضافتها التجهيز بعنصر غذائي واحد مثل سماد نترات الامونيوم ، وسماد اليوريا وسماد السوبرفوسفات العادي او المركز وغيرها . اما النوع الثاني فهو الاسمدة الكيماوية المركبة التي تحتوي على اكثر من عنصر غذائي يكون غالباً ثلاثة عناصر هي النايروجين والفسفور والبوتاسيوم وقد تحتوي على عنصرين فقط او اكثر من ثلاثة عناصر غذائية . ولا بد من القول ان محتوى الاسمدة المركبة من العناصر الغذائية مختلفة ومتغير وفقاً للرجة . وقد يوصف السماد المركب مثلاً بعبارة NPK التي تعني ترتيب محتوى هذا السماد بالشكل التالي $N: P_2O_5: K_2O$. فالسماد المركب 15: 15: 15 يعني وجود نسبة من النايروجين قدرها 15% ومن الفسفور 15% بهيئة P_2O_5 والبوتاسيوم 15% بهيئة K_2O .

تختلف خصائص هذه الاسمدة الكيماوية والفيزياوية ، لذا فان تأثيراتها على خواص التربة متباينة . ولقد سبق ان اوضحنا في الفصول السابقة خصائص بعض الاسمدة الشائع تداولها وتأثيراتها المتداخلة على خواص التربة ومساهمتها في تجهيز التربة ببعض العناصر الغذائية .

ونظراً لزيادة الطلب على الاسمدة الكيماوية ، أتجهت بعض المصانع لصناعة الاسمدة المركبة وذلك لتوفير الجهد عند الاستعمال بدلاً من الاسمدة الفردية ولتقليل كلفة النقل ومستلزمات الخزن ، كما يسهل نثرها وعدم تطايرها لكون أسلوب تصنيعها بحالة حبيبات يمنحها تلك الخصائص .

كما تمتاز الاسمدة المركبة بتجانس محتواها بحيث لا يحتاج الأمر الى عمليات الخلط كما في حالة استعمال الاسمدة المفردة .

2- الاسمدة العضوية

ان الاسمدة العضوية عبارة عن مخلفات حيوانية ونباتية تضاف الى التربة لغرض تجهيزها بالعناصر الغذائية وتحسين خواصها المختلفة . وتعتبر هذه الاسمدة بشقيها النباتي او الحيواني من اقدم الاسمدة التي عرفها الانسان واستعملها في تسميد محاصيله المختلفة ونظراً لعدم تطرقنا المسبق لهذه الاسمدة سنحاول قدر الامكان بيان الجوانب المختلفة من خصائص هذه الاسمدة وطرق تحليلها بعد اضافتها للتربة وانعكاس ذلك على الانتاج الزراعي .

لا بد من البدء اولاً بتحديد انواع الاسمدة العضوية التي هي : -

1- الاسمدة الحيوانية

2- الاسمدة النباتية

اولاً : - الاسمدة الحيوانية

السماذ الحيواني يطلق على مخلفات الحيوانات الصلبة والسائلة مع بعض المخلفات النباتية التي تستعمل عادة في فرش اصطبل الحيوانات وقد تصنع الاسمدة العضوية الحيوانية وفق مقاييس خاصة لتحديد نسب محتوى السماذ من النايروجين والفسفور وعناصر غذائية اخرى . وتعتبر الاسمدة الحيوانية من اهم الاسمدة العضوية التي تعمل على تحسين الخواص الفيزيائية للتربة فتزيد من تماسك الترب الخفيفة وتفكك الترب الثقيلة وتجعل التربة اكثر قدرة على الاحتفاظ بالرطوبة وتزيد من تحليل معادنها بالاضافة الى تزويدها بالعناصر الغذائية الرئيسية والثانوية . ان التركيب الكيماوي للاسمدة الحيوانية معقد يختلف باختلاف نوع الحيوان المأخوذ منه السماذ بالاضافة الى عمره وحالة معيشة الحيوان واسلوب التغذية وكذلك نوع فرشة الأصطبل وطريقة جمع السماذ وخزنه .

تحتوي الاسمدة الحيوانية الحديثة (الطرية) على محتوى غال من الماء يتراوح بين 30-85% . اما المكونات المتبقية فهي عبارة عن مواد صلبة معدنية وعضوية

وسوائل وغازات وتوضح الجداول ، (1 ، 2 ، 3) مكونات بعض الاسمدة الحيوانية .

جدول (1) التركيب الكيميائي لبعض الاسمدة الحيوانية الحديثة والحالية من القش (Waksman, 1938) .

المكونات	سماد الاغنام	سماد الخيول	سماد الابقار
نسبة مئوية			
مواد ذاتية بالأثير	2.83	1.89	2.77
المادة العضوية الذائبة بالماء البارد	19.19	3.19	5.02
المادة العضوية الذائبة بالماء الحار	5.73	2.39	5.32
الهيمسيلوز	18.46	23.52	18.57
السيليلوز	18.72	27.46	25.43
الكتين	20.68	14.23	20.21
النايتروجين الكلي	4.08	1.09	2.38
الرماد	17.21	9.11	12.98

وتتمثل المواد الصلبة الداخلة في تركيب السماد الحيواني بالعناصر الغذائية المختلفة التي تنطلق غالباً أثناء تحلل السماد لتكون بصورة جاهزة للنبات . ويحتل عنصر النايتروجين المرتبة الاولى من بين هذه العناصر (جدول 2) ويليه البوتاسيوم ثم الفسفور .

جدول (2) متوسط محتوى بعض العناصر الغذائية في الاسمدة الحيوانية (Loehr, 1968)

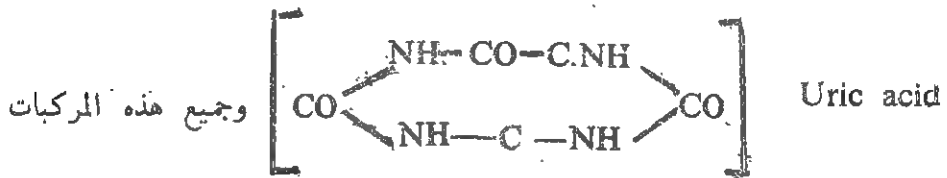
السماد	الرطوبة	N	P	K
الابقار	79	0.6	0.1	0.5
الخيول	60	0.7	0.1	0.6
الاغنام	65	1.4	0.2	1.0
الدواجن	54	1.6	0.4	0.4

وقد حدد (Atkinson et al. 1954) متوسط محتوى 44 غودجاً من الاسمدة الحيوانية المختلفة والمتصلة بسماد الابقار والخيول والاغنام والدواجن من العناصر الغذائية الصغرى (جدول 3) .

جدول (3) محتوى الاسمدة العضوية من بعض العناصر الغذائية الصغرى (جزء في المليون للمادة الجافة)

العنصر	ادنى مستوى	اعلى مستوى	المتوسط
البورون	4.5	52.0	20.2
المولبيدينوم	0.84	15.83	2.37
المنغنيز	75.0	549.0	201.1
الكوبلت	0.25	4.70	1.04
النحاس	7.6	40.8	15.6
الزنك	43.0	247.0	96.0

يوجد النايروجين في الاسمدة الحيوانية بيئة يوريا Urea ،
هيبوريك Hippuric [C₆H₅ CO. NHCH₂ COOH] وحامض اليوريك



غير متطايرة في درجات الحرارة الاعتيادية . ولكن بعد تحلل هذه المواد تتكون نواتج تفاعل مثل كاربونات الامونيوم التي تؤدي الى تكوين غاز الامونيا الذي قد يتطاير الى الهواء الجوي . ونظراً لاختلاف محتوى الاسمدة الحيوانية من هذه المركبات ، لذا فان معدل كمية الامونيا المتطايرة بعد عملية التحلل عند زيادة محتوى السماد من هذه المركبات وتوفير الظروف المشجعة لعملية التحلل . ان مشكلة تطاير الامونيا من الاسمدة الحيوانية تقلل من قيمة السماد الغذائية بسبب فقد عنصر غذائي مهم من التركيب الكيماوي للسماد دون الاستفادة منه . ويبدأ غاز الامونيا بالتطاير للهواء الجوي بعد عملية التحلل للمكونات النايروجينية العضوية

وتوفر الظروف المشجعة لهذه العملية ، اي انه يمكن توقع حدوث فقد الامونيا في الاصطبل وكذلك بعد تجميع السماد . وان اضافة مواد حامضية التفاعل للاسمدة الحيوانية اثناء تجميعها يساعد على تقليل كمية الامونيا المتطايرة من السماد . كما ان تعرض السماد لدرجات حرارة عالية يساعد على زيادة الفقد (جدول -4) . وان حركة الهواء لها تأثير كبير على فقد الامونيا ايضاً اذ وجد ان زيادة معدل سرعة الرياح ورفع درجة حرارتها يعمل على زيادة الكمية المتطايرة من السماد (جدول -4) . وهذا يعني ان نصف الامونيا تقريباً تفقد (وكذلك ربع كمية النايروجين الكلي) خلال 12 ساعة عند درجة الحرارة الاعتيادية (20°م) وفي وجود رياح بسرعة 8.5 ميل / ساعة (Heck, 1931) .

جدول (4) فقد النايروجين من سماد الابقار الخمر المعرض للجفاف

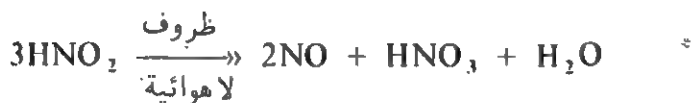
الوقت ودرجة الحرارة		فقد الامونيا (%)		الوقت ودرجة الحرارة	
رياح طبيعية	رياح طبيعية	رياح طبيعية	رياح طبيعية	رياح طبيعية	رياح طبيعية
0.5 ميل/ساعة	8.5 ميل/ساعة	0.5 ميل/ساعة	8.5 ميل/ساعة	0.5 ميل/ساعة	8.5 ميل/ساعة
25.1	7.7	49.4	15.2	12 ساعة بدرجة حرارة 20°م	
30.9	23.4	61.0	46.0	36 ساعة بدرجة حرارة 20°م	
35.6	32.4	70.0	63.9	3.5 يوم بدرجة حرارة 20°م	
37.3	36.2	73.5	71.3	7.0 يوم بدرجة حرارة 20°م	
48.3	48.2	95.2	95.0	7.0 يوم بدرجة حرارة 20°م + 24 يوم بدرجة حرارة 80°م	

(1) نتيجة لتحلل بعض المركبات العضوية النايروجينية وتكون ايون الامونيوم خلال عملية النشدة وايون النتريت (NO_2^-) خلال عملية النترجة عند توفر الظروف الهوائية ، يحصل التفاعل التالي الذي يؤدي الى فقد النايروجين بهيئة غاز (N_2) .



مركب عضوي نايروجيني ناتج عملية النترجة

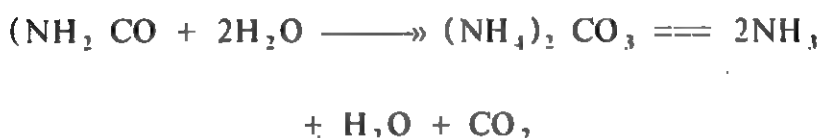
(2) بعد تكوين صور نواتج عملية النترجة (NO_2^- و NO_3^-) عند توفر الظروف الهوائية والتي تحصل غالباً عند وجود السماد في الأصطبل ولكن بمجرد تغير الظروف بعد تجميع السماد وتحول الحالة الى سيادة الظروف اللاهوائية يحصل ' فقد بالنايتروجين تصفه المعادلة التالية :



(3) قد تتفاعل اليوريا مع ناتج عملية النترجة HNO_3 مما يؤدي الى فقد النايتروجين



(4) فقد الامونيا بعد تحلل المركبات العضوية النايتروجينية وتكوين كاربونات الامونيوم



(5) تفاعل غاز الامونيا مع حامض HNO_2 الناتج من عملية النترجة



(6) تفاعل غاز الامونيا مع الاوكسجين



ولهذا يمكن القول بان فقد النايتروجين يؤدي الى ان تفقد السماد الحيواني محتواه من عنصر غذائي مهم جدا . كما ان وجود ايون NO_2^- أو ايون NO_3^- يعملان على زيادة الفقد .

كما قد تفقد الاسمدة الحيوانية جزءا كبيرا من السوائل المختلطة مع الجزء الصلب . وقد يحصل الفقد في موقع الاصطبل خلال حالة البزل الطبيعي التي يتعرض اليها السماد وكذلك اثناء تجميع السماد ثم وضعه في كوم خاصة . ولا يمكن

التقليل من حجم الخسائر التي يفقدها السماد بعد فقده للسوائل الخاصة التي تحتوي على نسبة عالية من العناصر الغذائية الرئيسية ضمن تركيبها (جدول - 5) . وتمتاز هذه السوائل بمحتواها العالي من النايروجين وبهيئة حامض اليوريك uric acid . وقد يفضل البعض تجميع هذه السوائل بعد وضع طبقة من القش في ارضية الاصطبل التي تساعد على ترشيح السوائل والتي يمكن جمعها بطريقة خاصة ولهذه الحالة تأثير سلبى على القيمة الغذائية للسماد الحيوانى .

جدول (5) محتوى السوائل المتجمعة من اسمدة حيوانية مختلفة بالنسبة للمحتوى الكلى (Ames & Gaither, 1955) .

السماد	النايتروجين (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
الخيلول	35	0	58
الابقار	53	5	71
الاعنام	63	4	86

كما ان تجميع الاسمدة الحيوانية في كوم خاصة وتركها معرضة للأمطار يؤدي الى خسارة في محتوى السماد الغذائى وكذلك بمحتواه من المادة العضوية (جدول - 6) . ومنه يمكن القول بأن هنالك مكونات عالية الذوبان بالماء ، لذا يفضل عدم غسل الاسمدة العضوية بالماء طبيعياً تجنباً لفقد العناصر الغذائية مع الماء .

جدول (6) كمية المادة العضوية والعناصر المعدنية التي تفقد اثناء الغسل بالماء (ذائبة بالماء) : النتائج استلت من (Ames & Gaither, 1955) حسبت على اساس المحتوى الكلى لهذه الاسمدة .

السماد	المادة العضوية (%)	النايتروجين (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
الخيلول	5	53	53	76
الابقار	7	50	50	97
الاعنام	7	42	58	97

وهذا يعني ان نصف محتوى الاسمدة العضوية الحيوانية من النايروجين والفسفور ذائبة بالماء وان جميع محتواها من البوتاسيوم تقريبا ذائبة ايضاً . كما قد يفقد السماد جزءاً لا بأس به من مكوناته للمادة العضوية اثناء فترة الحزن وعند توفر ظروف مشجعة لعملية التحلل .

من خلال ما تقدم يتطلب اختيار افضل السبل لحفظ السماد الحيواني لمنع كل العمليات السلبية الناتجة من ظروف سوء الحزن . وقد تتبع خطوات عديدة لذلك يمكن ايجازها بالآتي :

(1) يجب ان يحفظ السماد في مكان غير حار ومحي من الشمس والرياح وذلك لتقليل فقد النايروجين وعدم خلق ظروف مشجعة لتحلل المركب كاربونات الامونيوم .

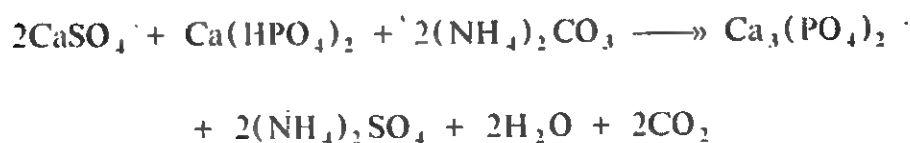
(2) اتبع عدد كبير من الباحثين اسلوب الحزن مع اضافة بعض الحوامض المركزة مثل حامض الكبريتيك وحامض الفسفوريك وحامض الهايدروكلوريك وذلك لمنع المركبات النايروجينية العضوية وعرقلة عملية النترجة وكذلك لمنع تحلل كاربونات الامونيوم كما تصف ذلك المعادلة التالية :



وقد يفضل البعض اضافة بعض الاملاح الحامضية التفاعل مثل الجبس ($CaSO_4$) وكذلك كلوريد الكالسيوم ونترات الكالسيوم التي تعمل ايضاً على عرقلة عملية تحلل مركب كاربونات الامونيوم وفقاً لما تصفه المعادلة التالية :



كما يفضل استخدام سماد السوبرفوسفات العادي وذلك لارتفاع محتواه من الجبس ولهذا فإنه يعمل على عرقلة تحلل مركب كاربونات الامونيوم وفقاً لما تصفه المعادلة الآتية :



وقد اكدت نتائج (Midgley & Weiser, 1937) أهمية اضافة سماد السوبرفوسفات على كمية الامونيا المفقودة من السماد الحيواني المضاف وكذلك

انتاج محصول الذرة الصفراء (جدول - 7). كما اكدت النتائج ان اضافة 67 پاوند من النايروجين لكل طن سماد حيواني وقد اوصى بضرورة اضافة سماد السوبرفوسفات البادي للاسمدة العضوية الحيوانية في موقعها في الأصطلب اي منذ بداية الامر. وقد اكد آخرون هذا الاستنتاج واهميته التطبيقية.

جدول (7) تأثير إضافة سماد السوبرفوسفات المركز للسماد الحيواني قبل وبعد التخمير على استرجاع الامونيا وانتاج الذرة الصفراء بعد إضافة 10 طن سماد حيواني معاملة لكل أكر.

المعاملة	الامونيا المسترجعة (پاوند)	إنتاج الذرة الصفراء (غم / سندان)
المعاملة القياسية (دون سماد حيواني)	-	15
سماد حيواني مخمر وبدون تخفيف	45.3	192
سماد حيواني مخمر ومجفف	3.5	35
سماد حيواني + سوبرفوسفات الذي أضيف قبل التخمير (السماد مجفف)	32	152
سماد حيواني + سوبرفوسفات أضيف بعد التخمير (السماد مجفف)	10.2	46

(3) يفضل حفظ الأسمدة الحيوانية مكبوسة تماماً لتوفير ظروف غير هوائية وذلك لمنع نشاط عملية عكس النترجة وبذلك تتلافى الفقد الناشيء عن وجود NO_2^- أو NO_3^- . ويفضل خزن السماد برطوبة معتدلة وليست عالية.

ان الاعتناء ومعرفة الطريقة الصحيحة لاعداد السماد الحيواني لها تأثير كبير على مكونات العناصر الغذائية فيه. فلقد تطرقنا الى جملة امور لها تأثيرها على خفض القيمة الأجمالية للأسمدة الحيوانية كفقده لقسم كبير من السائل، الحاوي على نسبة عالية من النايروجين أو تركها معرضة للامطار أو مكشوفة للهواء مما يفقد جزءاً من مكوناته من العناصر الغذائية. ولا بد أيضاً من الإشارة الى الضرر الناجم من تجمع السماد الحيواني بأكوام ووضع على أرض ملحية مما يؤدي هذه الحالة الحاطئة الى زيادة محتوى السماد من الاملاح إذ ينتشر الملح من التربة الى الكومة السادية بواسطة ذوبان الاملاح بالرطوبة التي تتوزع بدورها في الكومة السادية من خلال عملية الخاصية الشعرية.

إن زيادة الطلب على الأسمدة العضوية لما لها من أهمية في تحسين خواص التربة وامتدادها بالعناصر الغذائية يدفعنا الى اختيار أفضل الوسائل للمحافظة عليه بالشكل الذي يساعد على القيام بدوره المطلوب .

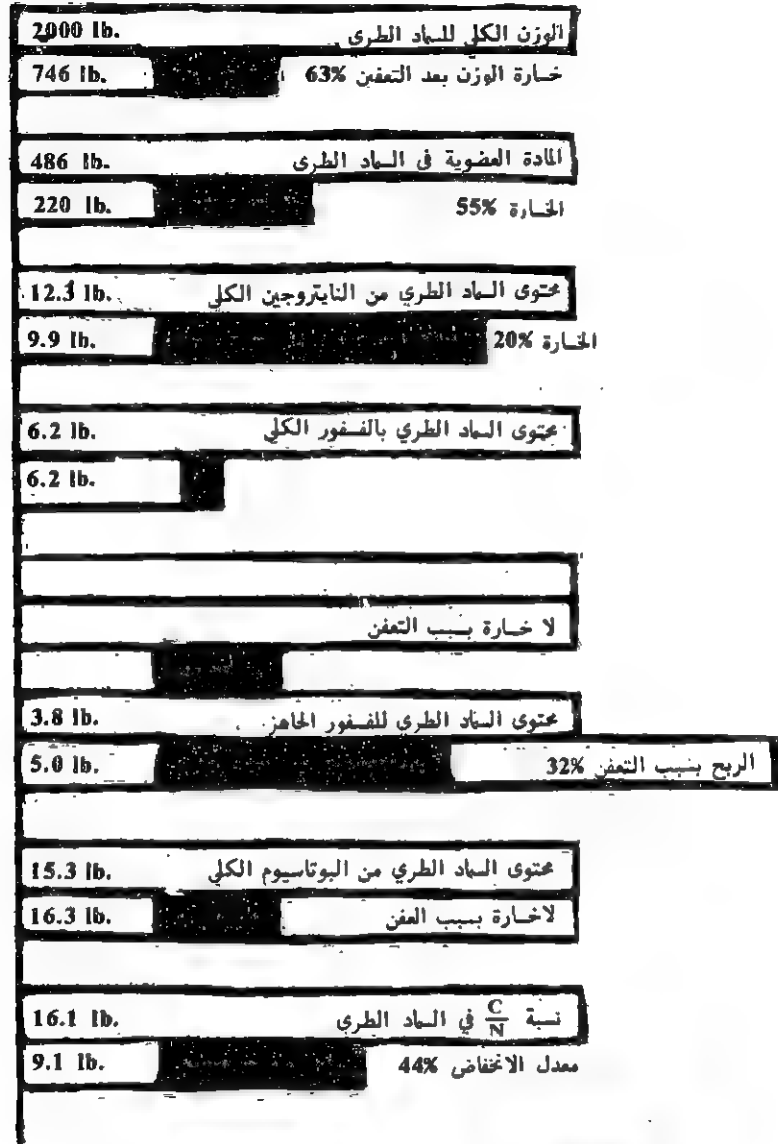
تعفن السماد الحيواني

سنحاول هنا مناقشة خصائص تعفن الاسدة الحيوانية وتأثير هذه العملية على خصائص السماد بالمقارنة مع خصائص السماد الطري . ولابد من القول أولاً إن طريقة تعفن الأسمدة الحيوانية قد استخدمت من قبل الانسان منذ القديم ومازال استخدامها في مختلف مناطق العالم له أهمية خاصة في تحسين خواص السماد . يعتقد الكثيرون إن تعفن السماد الحيواني يحزنه في ظل ظروف خاصة من رطوبة ودرجة حرارة ولفترة زمنية يضيف قيمة غذائية لمكونات السماد إذ يؤدي الى زيادة محتواه من العناصر الغذائية (الشكل - 1) بالمقارنة مع الأسمدة الحيوانية الطرية . وقد يعزى سبب ذلك من خلال خسارة السماد لجزء كبير من وزنه خلال عملية التعفن وكذلك لجزء من المادة العضوية والنايتروجين حتى عند أفضل ظروف الحزن .

إن الفائدة من تعفن الأسمدة الحيوانية تتلخص بتحسين خواص السماد الفيزيائية مما يسهل عملية توزيعه ونشره على سطح التربة وبما أن عملية التعفن تقلل وزن السماد فإن الكمية اللازمة لتغطية وحدة المساحة تزداد ولكن تحسن خواص السماد الفيزيائية بزيادة كمية الحبيبات الغروية الاقل من 2 مايكرون (McCalla & Boyce, 1969) يؤدي الى تعويض ذلك النقص من خلال زيادة تجانس توزيع وانتشار السماد الحيواني المضاف . كما إن للسماد الحيواني المعفن فائدة أخرى في تقليل عملية الحرق التي ترافق عملية اضافة السماد الحيواني الطري للنبات بسبب خسارة السماد المعفن لجزء كبير من الامونيا التي يؤدي زيادة تركيزها في التربة الى الضرر . لذا فإن إضافة الأسمدة الحيوانية المعفنة الى التربة وبالقرب من النبات وكذلك اثناء الزراعة لا تشكل خطراً على نمو المحاصيل الزراعية ونتاجها وهذه الحالة لا يمكن تطبيقها على الأسمدة الحيوانية الطرية التي يفضل غالباً إضافتها بفترة قبل الزراعة وكذلك بعيداً عن اجزاء النبات عند اضافته بعد الزراعة تجنباً لضرر التركيز العالي من الامونيا . كما ان محتوى السماد المعفن من الفسفور والبوتاسيوم اعلى من السماد الطري وهذا يعني قلة اضافة أسمدة العناصر الغذائية المذكورة بعد إضافة السماد المعفن بالمقارنة مع السماد الطري . ويفضل غالباً إضافة السماد المعفن للترب الرملية وذلك لقدرته العالية على حفظ الماء ومسك العناصر الغذائية في حين يفضل إضافة السماد الطري للترب الطينية الثقيلة . وهناك آراء عديدة عن اسلوب التعفن ودرجة الحرارة المطلوبة والوقت المناسب ،

لن نتناولها في هذا الفصل على الرغم من أهميتها بعد تزايد استخدام الأسمدة الحيوانية في المجال الزراعي .

الماد لجزء كبير من وزته خلال عملية التعفن وكذلك لجزء من المادة العضوية والنايتروجين حتى عند أفضل ظروف التخزين .



السماد المفعن السماد الطري

الشكل (1) تأثير عملية تعفن السماد خلال فترة (3) أشهر على مكوناته الكيميائية (Shutt, 1955) بالمقارنة مع المكونات الكيميائية للسماد الطري (السماد الحيواني عبارة عن خليط من سماد الابقار وسماد الخيول)

ويمكن استعمال المواد العضوية الأخرى أو تصنيعها بحيث تصبح قابلة كسماد عضوي ومنها :

1- فضلات المراحيض

هي عبارة عن مواد يراز الإنسان الصلبة والسائلة استعملت منذ قديم الزمان في مناطق العالم ويحتاج لحزن هذا السماد أسلوب خاص حتى يتمكن من القضاء على البكتريا المسببة للأمراض والديدان الطفيلية . كما أن تعرض فضلات المراحيض للهواء يفقدها قسماً من المواد السامة وخصوصاً النايروجين وكذلك خزنها في الحفر يجعل التربة تمتص قسماً من موادها السامة .

وفي كثير من بلاد العالم بدأت صناعات خاصة بها ويجب ملاحظة جمعها في أحواض محكمة كما أن إضافة الزباله إليها تعجل من تحمرها وتحفظ القيمة السامة لها .

2- فضلات مجاري المياه القذرة

تستعمل لاستخراج المادة العضوية منها وتعامل معاملة خاصة لأستعمالها كسماد عضوي كما تستعمل المياه عند فصلها للري إذ تحتوي على نسبة عالية من العناصر الغذائية وهذه الطريقة مستعملة في كثير من انحاء العالم كاوربا وأمريكا وأستراليا .

3- الزباله (القمامة)

القمامة أو الزباله هي ما تجمع من المخلفات والفضلات من البيوت والمعامل والمصانع والمجازر وغيرها . وتصنع بان تجمع هذه المواد وتعامل بالتسخين بإضافة مواد كيميائية أو عدم اضافتها ثم تطحن وتعبأ في اكياس وتصدر الى الأسواق للبيع . وفي الآونة الأخيرة زاد الاهتمام في استخدام القمامة كاساس في تصنيع بعض الاسمدة العضوية .

4- الدم المجفف

يجمع الدم من المجازر وبالتسخين يجفف ثم يسحق ويستعمل كسماد أو علف للحيوانات . ويحتوي الدم المجفف على مادة عضوية تصل الى 76% ونسبة من النايروجين قدرها 10% و 2% خامس اوكسيد الفسفور و 0.7% اوكسيد البوتاسيوم والمحتوى الرطوبي لهذا السماد قد يصل الى 12% وقد يمزج الدم المجفف مع الفضلات والعظام المسحوقة .

ولابد من الإشارة الى عدد آخر من الاسمدة العضوية المصنعة التي شاع استخدامها في المجالات الزراعية التطبيقية مثل السلج Sludge الذي هو عبارة

عن خليط من المخلفات الصلبة وأحياناً تستخدم القمامة مع مواد كيميائية كمصدر غذائي ومن خلال عملية التصنيع يتحدد محتوى هذا السماد من العناصر الغذائية الرئيسية والثانوية . او السماد العضوي البيتموس Peatmoss الذي يصنع ايضاً من خليط من المخلفات الصلبة كالقمامة والقش مع مواد كيميائية كمصدر غذائي . وقد يستخدم طن واحد من المخلفات الصلبة الجافة لكي تعطي 2.5 طن من السماد العضوي الصناعي . وان متوسط محتوى الاسمدة الصناعية هي :

رطوبة 50-80%

مادة عضوية 10-15%

نايتروجين 5-30%

خامس اوكسيد الفسفور 5-10%

اوكسيد البوتاسيوم 0.4-1.0%

ثانياً : الاسمدة الخضراء

الاسمدة الخضراء تعني النباتات التي تزرع لأجل قلبها في الترب الزراعية او بقايا المحاصيل الزراعية التي تقلب في التربة والتي تعمل عند تحللها عمل الاسمدة الحيوانية بتزويدها التربة بالعناصر الغذائية بالإضافة الى مساهمتها في تحسين خواص التربة الفيزيائية . وتعتبر المحاصيل البقولية من اكثر الاسمدة الخضراء استعمالاً وذلك لسرعة تحللها وتزويدها العالي للتربة بالنايتروجين كما ان نسبة الكنبن قليلة . تصنيف الاسمدة الخضراء للتربة المادة العضوية التي تعمل على زيادة أو تقليل المادة الدبالية في التربة تبعاً لنوعية النباتات المقلوبة في التربة وبالأخص نسبة $\frac{C}{N}$. وكذلك فان تحلل المحاصيل المقلوبة في التربة يؤدي الى تحرر ثاني اوكسيد الكربون الذي يساعد على ذوبان بعض المعادن والاملاح في التربة . ولعمر النبات ومحتواه من البروتين أو الكاربوهيدريت تأثير في سرعة تحلل السماد الأخضر وكمية المواد الغذائية التي يضيفها للترب . لذا فان اختيار الوقت المناسب لقلب المحاصيل له أهمية كبيرة في تحديد مساهمته في تحسين خواص التربة الفيزيائية والكيميائية ويفضل غالباً قلب المحاصيل البقولية عند ابتداء التزهير فيها . ومن المحاصيل التي تستعمل كسماد اخضر هي البرسيم واللوبيا والجت بعد ثلاث سنوات من زراعته .

إن من خصائص الاسمدة الخضراء قدرة المحاصيل النامية على استخلاص العناصر الغذائية الجاهزة وأحياناً غير الجاهزة وامتصاصها لبناء انسجته المختلفة ومن ثم تعاد هذه العناصر من جديد بعد قلب السماد مع التربة لتضيف حالة جديدة في تحسين خصوبة التربة . وتساهم الاسمدة الخضراء ايضاً في زيادة تشييط احباء

التربة الدقيقة من خلال تجهيزها بمسئزمات النمو . كما تساعد المحاصيل الزراعية النامية على خفض محتوى التربة من الاملاح الذائبة المختلفة وبهذا تتحسن ظروف النمو للمحاصيل الزراعية اللاحقة .

ولابد من الإشارة الى نقطة هامة هي الظروف المناسبة لقلب المحصول البقولي في التربة . ان لعمق القلب في التربة تأثيراً فعالاً في تحديد سرعة تحلل المحصول وكذلك نواتج التفاعل المتكون وهذا يعني ان عمق القلب يجب ان يكون ضمن حدود توفر التهوية الجيدة والمناسبة لنشاط احياء التربة التي تعمل على تحلل السماد وان زيادة العمق وبالأخص في الترب الطينية الثقيلة له انعكاسات سلبية في تكوين نواتج ضارة كالكحولات والغازات السامة التي تؤثر على نمو المحاصيل الزراعية اللاحقة . ان ربط خواص التربة الفيزيائية مع العمق المناسب في اختيار عمق قلب المحصول . كما ان محتوى التربة الرطوبي تأثيراً هاماً على تحديد مسارات عملية التحلل للاسمدة الخضراء . فالأجدر عدم اضافة مستويات عالية من الرطوبة بعد قلب السماد تجنباً لخلق ظروف لاهوائية وهذا يعني ضرورة وفرة مستوى مناسب من الرطوبة لتشجيع احياء التربة على عملية التحلل ويفضل فصل الربيع غالباً كوقت مناسب لقلب الاسمدة الخضراء تجنباً لظروف الحرارة العالية في فصل الصيف والرطوبة العالية في فصل الشتاء .

تحلل الأسمدة العضوية في التربة

عندما تضاف الأسمدة العضوية (الحيوانية أو النباتية) الى التربة تهاجم من قبل احياء التربة الدقيقة التي تعمل على تحليلها . وتبدأ عملية التحلل أولاً على المركبات العضوية غير النيتروجينية والتي تنقسم وفقاً لسرعة تحليلها الى قسمين هما :

- (1) مركبات سريعة التحلل مثل السكريات والنشأ والسيليلوز والهيمسيليلوز والتي تكثر في النباتات الصغيرة (الحديثة التكوين) .
- (2) مركبات بطيئة التحلل مثل الكنين والدهون والاصماغ وهذه تكثر في النباتات المسنة . وتكون نواتج التحلل هي CO_2 وماء وحوامض معدنية غالباً .

وتحتوي الأسمدة الحيوانية على نسبة ليست بالقليلة من هذه المركبات غير النيتروجينية (جدول - 1) . وإن زيادة محتوى الأسمدة الحيوانية من القش الذي يفرش في أرضية الأصطبل يؤدي الى زيادة هذه المركبات على حساب المركبات الأخرى . وهذا يعني أن الفترة الزمنية اللازمة لتحلل المركبات غير النيتروجينية قصيرة جداً فقد أشار (Jenkinson, 1966) الى أن حوالي (30

الى 33%) من محتوى السماد من الكربون بقي بعد سنة واحدة من الأضافة وإن 19% من الكربون بالنسبة للكربون الكلي قد بقي بعد اربع سنوات من الأضافة في حين أن 50-60% من النايروجين بالنسبة لمحتوى السماد من النايروجين الكلي قد تحلل خلال السنة الاولى من الأضافة وإن تكوين الدبال يساعد على زيادة ثباتية المادة العضوية في التربة إذ وجد أن الفترة اللازمة لتحلله تستلزم وقتاً طويلاً يزيد عن 25 سنة .

- أما المواد العضوية النايروجينية التي تنقسم الى قسمين هامين :
- (1) المواد النايروجينية البروتينية التي تحلل مائياً بواسطة انزيمات متعددة لتكون في النهاية صور النايروجين المعدنية .
 - (2) المواد العضوية النايروجينية غير البروتينية مثل اليوريا وحامض اليوريك وغيرها التي سبق أن أشرنا الى جوانب تحليلها لتكون في النهاية ايضاً صور النايروجين المعدنية .

ان ماسبق ان اشرنا اليه عبارة عن جوانب من تحليل الأسمدة العضوية في الظروف الهوائية ولكن تختلف نواتج التفاعل في ظل ظروف اللاهوائية وقد أختصر (McCalla et al, 1970) نواتج تفاعل الأسمدة الحيوانية في الظروف الهوائية وكذلك اللاهوائية في (جدول 8) .

جدول (8) نواتج تحليل السماد الحيواني في ظل سيادة ظروف هوائية أو لاهوائية

الظروف الهوائية			
مركبات الكربون	مركبات النايروجين	مركبات الفسفور	مركبات الكبريت
غاز CO_2	NH_4^+	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}
+	+		
خلايا احياء التربة	NO_2^-		
	+		
	NO_3^-		

الظروف اللاهوائية

$H_2S + S^{=}$	H_2PO_4	$NH_3 + N_2$	CO_2
		+	+
		Pyridines	CH_4
		+	+
		Indoles	احماض عضوية
		+	+
		Skatoles	كحولات
			+
		Amines	خلايا احياء التربة

أما تكوين الدبال بعد إضافة الاسمدة العضوية فيحتاج الى وقت لتحلل المركبات البسيطة التركيب وكذلك الأكثر تعقيداً كالنشأ ثم تبدأ مركبات الكنين والبروتينات المعقدة التركيب التي يصعب تحللها بسرعة بالتجمع لتكون الدبال . وقد يعرف الدبال على انه التركيب المعقد الذي يصعب تحلله من قبل الاحياء والمكون من اتحاد الكنين مع البروتين مع نسبة من قواعد التربة الذي يتكون بعد ان يحتفي التركيب الأصلي للمواد العضوية المضافة وتتحول بنية الى سوداء اللون . والدبال مادة غنية بالتركيبات الحقلية ويختلف نوع الدبال وكميته باختلاف التركيب الكيماوي والفيزيائي للمواد المتحللة كما يتوقف على نوع التربة وانواع الاحياء الدقيقة التي توجد فيها وعلى بعض العوامل الأخرى كدرجة الحرارة والرطوبة والتهوية والحموضة وغيرها . ويوضح (الشكل - 2) تكوين الدبال بعد عمليات التحلل للمواد المختلفة .

وللدبال أهمية كبيرة في التأثير على خواص التربة الفيزيائية والكيماوية التي لا نتطرق اليها هنا ولكن يمكن الرجوع الى كتاب مبادئ كيمياء التربة - المرحلة الثالثة للوقوف على تلك الخواص . وعموماً فإن التربة تعتبر فقيرة في الدبال اذا احتوت على اقل من 1% في الترب الرملية و 2% في الترب الطينية .

العوامل الواجب مراعاتها عند اجراء عملية التسميد

إن الغرض من التسميد هو توفير العناصر الغذائية للنبات مما يؤدي الى زيادة الانتاج الزراعي . وكما سبق أن أشرنا (الفصل الاول) الى وجود عوامل متعددة تحدد طبيعة الانتاج وقد يقع ضمنها وفرة العناصر الغذائية فالتداخل بين عوامل الانتاج المختلفة ومدى توفرها له تأثيره على مدى استفادة أي محصول من العناصر الغذائية . ومن هذه العوامل التي تتداخل مع العناصر الغذائية وتؤثر بمحصلتها النهائية على إنتاج الحاصل : -

1- تأثير التربة

إن لخصائص التربة الفيزيائية والكيميائية تأثيراً كبيراً على مدى إستجابة التربة للتسميد وعلى السلوك الكيميائي للسماد بعد إضافته . إن المحافظة على السماد وقدرته في تجهيز التربة بالعناصر الغذائية اللازمة لنمو النبات أي رفع خصوبة التربة وكذلك المحافظة على عدم تدهور عناصر السماد لايتحققان الا بالتسميد الصحيح كما ونوعاً مع معرفة دقيقة لتأثير خواص التربة وتأثيرها بطبيعة السماد . فالكمية المطلوب إضافتها من أي سماد تتوقف أولاً على خصوبة التربة وبعد حساب دقيق لما تقتصر اليه التربة من عناصر غذائية يأتي دور تحديد الكمية اللازمة لسد النقص مع الوضع بنظر الاعتبار تأثير خواص التربة على السلوك الكيميائي للسماد المضاف فمثلاً في الترب ذات القدرة التثبيتية العالية لأحد العناصر الغذائية نحتاج لاختيار أفضل الوسائل لعدم خسارة جزء كبير من السماد بحالة غير قابلة للامتصاص من قبل النبات . كما إن إرتفاع أو إنخفاض pH التربة عن الحد المذكور له تأثير كبير في اختيار اسلوب التسميد وكذلك نوع السماد . وقد أوضحنا في الفصول السابقة عدداً من الأختيارات المناسبة لتجنب تأثير تداخل خصائص التربة الفيزيائية والكيميائية والبايولوجية على طبيعة التسميد . ولا بد من القول إن التسميد الجيد يساهم في زيادة الحاصل والمجموع الجذري والخضري للنبات وبذلك يتخلف قسم كبير من اجزاء النبات في التربة فيزيد من المواد العضوية فيها وبالتالي المحافظة على خصوبتها .

2- تأثير الظروف البيئية

لا يوجد ما يمكن ان يقوم به الانسان في تغيير عوامل المناخ السائدة في المنطقة لذا علي أن يكيف محاصيله وعملياته الزراعية حسب الظروف المناخية السائدة . فلهحرارة مثلاً تأثير مباشر على تمثيل الغذاء واستهلاكه من قبل النبات . فدرجات

الحرارة المثالية لهاتين العمليتين تختلف باختلاف النباتات . كما إن للتباين بين درجات الحرارة ليلاً ونهاراً تأثيراً كبيراً على نمو النبات وخصوصاً على تلك التي تخزن النشأ . منها . وبصورة عامة يمكن اعطاء كمية اكبر من السماد للنباتات في المناطق التي يكون ليلاً بارداً ونهارها دافئاً على أن تكون العوامل الأخرى ملائمة للنمو .

أما تأثير الضوء الذي يحتاجه النبات لصنع غذائه ، فإن قلة الضوء تعمل على خفض احتياجات النبات من العناصر الغذائية وطلبه للسماد . وللماء دور هام في نمو النبات . فغالباً ما تضاف الأسمدة بحالة صلبة صعبة التناول المباشر من قبل النبات الا بعد ذوبانها بالماء . لذا فقلة الماء تحدد من كمية السماد التي يستفيد منها النبات وان إضافة أية كمية من السماد أكبر من قدرة ذوبانها بالماء تعتبر عديمة الفائدة .

3- تأثير المحصول

إن متطلبات النبات من العناصر الغذائية وقابليته لتمثيل الغذاء من العناصر الجاهزة في التربة أو المضافة بالتسميد أو بالاحرى الاستجابة الى معاملات التسميد تختلف من محصول الى آخر . فكمية العناصر الغذائية الممتصة خلال فترة النمو تتوقف على نوع المحصول والانتاج . وللصنف دور مؤثر في حساب الاحتياجات السادية المطلوبة . فالاصناف الجيدة تحتاج الى كمية كبيرة من العناصر الغذائية ولا تصل الى اقصى انتاج الا بتوفر الغذاء . في حين لا تعطي الأصناف المحلية زيادة في الانتاج مهما اعطيت من كميات كبيرة من الاسمدة . ويمكن القول بأن زراعة الاصناف المحسنة والجيدة الانتاج بدون تسميد يعتبر امراً غير مربح . وقد درس (Kemmler, 1972) تأثير الصنف على الاحتياجات الغذائية المطلوب لانتاج وافر (جدول - 9) . وقد استنتج ان زيادة قدرة الصنف على الانتاج يعني زيادة قدرته الاستهلاكية من العناصر الغذائية .

جدول (9) تأثير صنف محصول الرز على كمية الانتاج والاستهلاك من العناصر الغذائية .

الصنف	انتاج الحبوب طن / هكتار	N كغم / هكتار	P	K
محلي	2.8	82	10	100
TN1	8.0	152	37	270

جدول (10) كمية العناصر الغذائية التي تستنفدها الحاصيل المختلفة (Fakin, 1972)

الحصول	كمية / هكتار						الانتاج طن / هكتار			
	Zn	Mn	Cu	S	Mg	Ca				
الشعير (حبوب) الشعير (قش) القمح (حبوب) القمح (قش) الشوفان (حبوب) الشوفان (قش) الذرة الصفراء (حبوب) الذرة الصفراء (قش) البرسيم الجث	70	30	34	3	2	1	10	8	40	2.2
	60	360	11	5	2	9	30	3	17	2.5
	160	100	33	3	7	1	14	13	56	2.7
	56	180	11	6	4	7	33	3	22	3.8
	56	134	34	6	3	2	14	10	55	2.9
	330	-	34	10	9	9	75	8	28	5.0
	170	100	66	11	9	2	37	27	150	9.5
	330	1700	55	16	22	29	135	19	110	11.0
	470	500	66	21	24	125	170	20	200	10.0
	400	600	45	8	19	77	95	13	110	6.0
قصب السكر التبغ (اوراق) لفنن (بذور) لبطاطا (درنات) لبطاطا (ثمار) البانة	-	-	-	26	26	31	250	27	110	75.0
	80	600	33	15	20	83	110	8	83	2.2
	350	120	66	3	4	2	14	11	45	1.7
	60	100	44	7	7	3	140	15	90	27.0
	180	145	80	15	12	8	150	20	130	50.0
	90	110	44	50	9	22	120	18	145	50.0

وبهذا فان لاختلاف نوع المحصول وصنفه تأثيراً هاماً في تحديد الكمية السادية المطلوبة وذلك لاختلاف القدرة الاستهلاكية من العناصر الغذائية اللازمة لانتاج محدد من المحصول (جدول - 10 و 11). ولكن هذه القاعدة قد لا تنطبق على جميع المحاصيل الزراعية. فالبقوليات مثلاً تستنفذ كمية كبيرة من النايروجين الا أنها تصنع معظم هذه الكمية بواسطة البكتريا المثبتة للنايتروجين والموجودة في العقد الجذرية.

جدول (11) كمية العناصر الغذائية التي تستنفذها المحاصيل المختلفة (Cooke, 1974)

Mg	Ca	K	P	N	الانتاج	المحصول في الهكتار
					كغم / هكتار	
-	-	121	25	45	88 طن قصب	قصب السكر
-	-	224	22	78	45 طن ثمار	الموز
-	-	50	8	38	1 طن قهوة	القهوة
3	6	30	5	60	1300 كغم	الشاى
-	-	-	-	-	اوراق جافة	
-	-	60	22	210	3.4 طن حبوب	فول الصويا

وتوجد فائدة من معرفة الكمية التي يستنفذها اي محصول لانتاج كمية مناسبة من الحاصل في تقدير كمية العناصر الغذائية التي يتطلبها النبات ولهذا فانها تستخدم كدليل عملي في تقدير الاحتياجات السادية المطلوبة.

4- تأثير العمليات الزراعية

مما لا شك فيه ان نجاح التسميد يتوقف على الاسلوب المتبع في تنفيذ العمليات الزراعية المختلفة. فيتوقف نجاح التسميد على نوع الدورة الزراعية المتبعة. وكما ان النباتات تختلف في متطلباتها من الماء والعناصر الغذائية كذلك تختلف باختلاف مفعول النبات السابق عليها. وان افضل النباتات الباقية هي ما كانت بقولية او كانت تترك خلفها تربة جيدة. فعند تسميد محاصيل الدورة الزراعية يجب الأخذ بنظر الاعتبار المحصول السابق وما أخذ من سماد. وفي كثير من الحالات يفضل

تسميد المحصول السابق ليستفيد من سماد المحصول الحالي. ومن أجل الدقة في حساب الاحتياجات السمادية يتطلب الأمر تقدير كمية العناصر الغذائية الجاهزة بعد كل محصول. ولا يفضل مواصلة زراعة محصول واحد في الأرض نفسها بصورة متوالية غالباً خشية الاستنزاف الكبير لعناصر غذائية معينة بالإضافة إلى خشية انتشار الحشرات والأمراض والأدغال.

إن النبات النشط يكون أكثر قابلية لمقاومة الأوبئة والأدغال وفي بعض الحالات تستعمل الأسمدة كمواد كيميائية لمكافحة الأدغال وفي الوقت نفسه يستفيد منها النبات كمادة مثل إضافة سيناميد الكالسيوم. كما أن السماد يشجع على نمو النبات مبدئياً بسرعة فيسبق الأدغال والأوبئة فيحمي نفسه منها.

كما إن زيادة عدد النباتات في وحدة المساحة يتطلب زيادة كمية الأسمدة المضافة لأجل الحصول على ناتج جيد. ولا يعني هذا الإضافة العشوائية بل المرتبطة والمحسوبة وفقاً لاحتياج النباتات من أي عنصر من العناصر الغذائية. إن زيادة الكثافة النباتية لها تأثير على تحديد كمية الماء المتسربة وكذلك وحدة الضوء وإن وضع هذه العوامل كأساس مرتبط مع المتطلبات الغذائية بعد الضرر الناجم من الإضافات الزائدة من الأسمدة. أي أن الكمية السمادية المطلوب إضافتها عند زيادة عدد النباتات في وحدة المساحة يجب أن تكون كافية لدرجة مناسبة لأجل أن يكون مفعولها واضحاً وأن تكون نسبة الزيادة في الحاصل متناسب وزيادة السماد المضاف.

5- تأثير وقت إضافة السماد وطريقته

لأجل الحصول على الفائدة الكاملة من السماد المضاف ليس المهم فقط أن المحدد نوع السماد وكميته الصحيحة بل أن نأخذ بنظر الاعتبار وقت الإضافة المناسب. وقد يكون هذا الأمر بالغ الأهمية في التربة الفقيرة بمحتواها من العناصر الغذائية والمادة العضوية. كما إن لخصائص الأسمدة المراد إضافتها تأثيراً في اختيار الموعد الأمثل. وعلى الرغم من أننا تطرقنا إلى جوانب أهمية اختيار الوقت والطرق المناسبة لإضافة الأسمدة المعدنية الكيميائية في الفصول السابقة من هذا الكتاب إلا أننا سنعرض هذا الموضوع من جديد لتبيان تأثير وقت الإضافة وطريقته على عملية التسميد بالأسمدة المعدنية والعضوية. وسنتطرق أولاً إلى ما يخص الأسمدة الكيميائية المعدنية.

إن الغرض الرئيسي من إضافة الأسمدة الكيميائية المعدنية هو تجهيز النبات بالكمية المناسبة من العناصر الغذائية وبشكل سريع وذلك لتعويض النقص الموجود

في التربة من تلك العناصر الغذائية . اذن يعتبر وقت الأضافة عاملاً هاماً لدى استفادة النبات من عناصر السماد المراد أضافته . فالنبات يحتاج الى الفسفور في اول مراحل النمو ويجب ان يكون جاهزاً في التربة بعد ظهور البادرة وبكميات كافية ، لذا فإن أضافة أسمدة الفسفور قبل الزراعة بوقت قصير متجنباً حالة التدهور السريع التي قد ترافق اضافة الأسمدة الفوسفاتية التي تقلل من جاهزية الكمية المضافة .

أما النايتروجين فإن احتياج النبات اليه في بداية تكوين النمو الخضري ويستمر الاحتياج حتى آخر مراحل النمو ولكن بكميات تقل تدريجياً مع تقدم النبات في مراحل النمو . وبسبب سرعة فقد النايتروجين من التربة عند إضافته بهيئة صورة نترات أو امونيوم فإن اختيار طريقة تعدد الجرعة السادية لها فائدة كبيرة للمحافظة على تجهيز مستمر للنبات . اما البوتاسيوم فيعتبر وسطاً بالنسبة للفسفور والنايتروجين وذلك حسب نوع وصف المحصول ويمكن إضافته قبل الزراعة أو أثناء النمو . وهذا يعني ضرورة إضافة الأسمدة الفوسفاتية والبوتاسية قبل الزراعة وقليل من النايتروجين قبل الزراعة ثم يعقبه بالكمية الباقية أثناء النمو .

وعند الرغبة في استعمال سماد مركب يحتوي على كمية كبيرة من النايتروجين يجب ان يرتب وقت الاضافة بحيث تكون الفائدة من النايتروجين في أقصاها . وقد يرتبط موعد الأضافة مع طريقة الأضافة بشكل مباشر . وطرق الأضافة المتعارف عليها هي :

- (1) النثر السطحي - يوزع بصورة منتظمة فوق سطح التربة .
- (2) الخلط مع طبقة الحرث .
- (3) التلقيم - وضع السماد في أخدود أو حفر جنب النباتات .
- (4) رش النباتات بالمحلول للسماد الكيماوي .

لجميع هذه الطرق ميزاتها وعيوبها وذلك حسب نوع السماد والمحصول وطريقة الزراعة وكذلك موسم الزراعة . فالطريقة الأولى تستعمل في الحالات التالية : -

- (1) في الزراعة الكثيفة يجب عدم نثر السماد فوق النباتات أثناء وجود الندى في الصباح الباكر .
- (2) عند زراعة المحاصيل الزراعية ذات الجذور السطحية .
- (3) في الاراضي العالية الخصوبة .

- (4) عند إضافة الأسمدة السائلة .
(5) عند إضافة الأسمدة بشكل مسحوق الى اراضٍ تمتلك قدرة واطنة لتدهور السماد .

أما الطريقة الثانية التي يضاف فيها السماد ثم يخلط مع طبقة الحرثة وتستعمل : -

- (1) في الترب المنخفضة الخصوبة .
- (2) عند اختيار سماد بيئة حبيبات كبيرة الحجم وقليل الذوبان .
- (3) في الزراعة الكثيفة - وللمقارنة التفضيلية مع الطريقة الاولى فإن قلة معدل ذوبان السماد يعطي الارحية للطريقة الثانية .
- (4) في الاراضي القليلة المحتوى من الاملاح وكاربونات الكالسيوم والعالية المحتوى بالمادة العضوية .
- (5) الى النباتات التي تكون مجموعاً جذرياً واسعاً .

وتستعمل الطريقة الثالثة وفقاً للآتي : -

- (1) عند إضافة كمية محدودة من السماد .
- (2) لتجاوز تثبيت الفسفور والبوتاسيوم وتطاير الأمونيا .
- (3) عند زراعة المحاصيل بمرور أو عندما تكون المسافة بين النباتات واسعة .
- (4) في الاراضي المنخفضة الخصوبة .
- (5) الى النباتات التي لا تكون مجموعاً جذرياً واسعاً .

والطريقة الرابعة هي الرش وتستعمل في الحالات التالية : -

- (1) لتجنب حالة التدهور السريع للسماد بعد إضافته للتربة .
- (2) عند صعوبة امتصاص النباتات لبعض العناصر وخصوصاً النادرة فيعطى رشاً على النباتات .
- (3) عند تسميد مساحات شاسعة ، تعتبر طريقة الرش أسلوباً سريعاً للتسميد .
- (4) لمعالجة اعراض نقص الأشجار من العناصر الغذائية الضغرى إذ تعتبر طريقة الرش كأسلوب معالجة سريع بسبب تعمد جذور الأشجار .
- (5) بعد كبر النباتات يصعب استعمال الطرق السابقة فنستعمل طريقة الرش .

أما ما يخص وقت اضافة الاسمدة العضوية وطريقتها ، فإن طبيعة السماد المراد استخدامه له أهمية خاصة في تحديد الوقت . فالسماد العضوي الطري يفضل اضافته غالباً قبل الزراعة بشهر أو شهرين لكي يتحلل ويستفيد منه النبات عند الزراعة كما يمكن اضافته بعد الزراعة الى النبات مباشرة في حفر أو أخاديد تعمل جنب النبات . وقد يتجنب اضافة هذا النوع من السماد العضوي في فصل الصيف الشديد

الحرارة وكذلك في بداية فصل الشتاء المطر وذلك خشية بخسارة الجزء الأكبر من عناصره المعدنية إما بالتطاير أو بفعل الفسلفا ويمكن إضافة السماد العضوي (الغفر) أثناء الزراعة مع الحذر من ضرر غاز الامونيا المتحرر من السماد حتى عندما يكون محتوى هذا النوع من السماد من النيتروجين والفسلفا تقريبا 1%

تضاف الاسمدة العضوية وبالأخص المخلفات الحيوانية نثراً على سطح التربة وبشكل متجانس ثم تخلط مع العمق المناسب من التربة وذلك لزيادة فواصل التحلل السماد من قبل الحياء التربة وتقليل كمية الامونيا المفقودة من السماد (جدول 12). ان نثر السماد العضوي على سطح التربة فقط يحوي الخلل السيف (الخسارة كبيرة) لمحتوى السماد من النيتروجين والفسلفا (Salter & Scholtenberger, 1939) من خلال نتائج 40 سنة تجارب حقلية هذا الاحتياج (جدول 12). فقد عزا سبب هذه الخسارة للآتي:

- (1) فقد الامونيا خلال مراحل تجفيف السماد بواسطة اشعة الشمس والرياح.
- (2) تعرض السماد للفصل بفعل ماء المطر أو الري.
- (3) تأثير حرث السماد العضوي مع التربة بعد أوقات مختلفة من الأضافة.
- (4) ...
- (5) ...

الزيادة التلقائية في الانحلال	
البطاطا	الشوفان
١٠٠	١٠٠
٧٩	٨٦
٧٣	٧٠
٥٧	٤٤

السماد العضوي حرث بعد 6 ساعات من نثره سطحياً
السماد العضوي حرث بعد 24 ساعة من نثره سطحياً
السماد العضوي حرث بعد 4 يوم من نثره سطحياً

... (2) ...
... (1932) ...
... (1940) ...
... (Salter & Scholtenberger) ...

النايتروجين بل على عناصر غذائية أخرى ويخلص أن معدل فقد النايتروجين قد يتراوح بين 30-40% ، أما الفسفور فقد يتراوح بين 15-25% والبوتاسيوم من 40-60% من محتواه الكلي في السباد. وهذا يؤكد أهمية خلط هذه الاسمدة بعد إضافتها مباشرة للتربة (1970) Naylor and others.

جدول (13) تأثير فترة ترك السباد على السطح على كمية النايتروجين المفقودة في أوقات زمنية مختلفة .

الفترة	كانون الأول	أذار	نيسان
ترك السباد لمدة 24 ساعة (Washington, 1951)	2	3	21
نثر السباد على السطح (Poyd, 1951)	15	10	29
ترك السباد لمدة 4 أيام (Poyd, 1951)	15	10	29
نثر السباد على السطح (Poyd, 1951)	15	10	29

إن النقص المناخي في المناطق الجبلية (التي هي من المناطق الجبلية) هو من الظروف المناخية حيث تنخفض التربة وتحتلها المياه الجوفية. وقد أشارت نتائج عدد من الأبحاث إلى أن اختيار السباد المناسب للتربة هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.

- (1) اختيار السباد المناسب للتربة هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.
- (2) اختيار السباد المناسب للتربة هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.
- (3) اختيار الوقت المناسب للتربة هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.
- (4) عند اختيار السباد المناسب للتربة هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.
- (5) اختيار السباد المناسب للتربة هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.
- (6) اختيار السباد المناسب للتربة هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.
- (7) استعمال بذور جيدة النوعية هو من أهم العوامل التي تؤثر على خلط السباد . Robert S. Kerr Water Res Center, Ada, OK.
- (8) مكافحة الآفات والأمراض والحشرات التي تتعرض لها النباتات .
- (9) استخدام الدورة الزراعية المنتظمة .

قائمة المصادر

- 1- Ames, J.W. and Gaither, E.W. (1955) In "McCalla et al (1970) Nebr. Exp. Sta. Publ.
- 2- Atkinson et al (1954) In "McCall et al (1970) Nebr. Exp. Sta. Publ.
- 3- Cooke, G.W. (1974) Cento Seminar on Fertilizer Analtical methods, Sampling and Quality Control, Pakistan.
- 4- Eakin, J.H. (1972) The fertilizer handbook, The Fertilizer Inst., Washington. 1-21.
- 5- Heck, A. Floyd. (1931) Soil Sci. 31: 335-359.
- 7- Jenkinson, D.S. (1966) J. Soil Sci. 17: 280-302.
- 8- Kemmler, G. (1972) Proc. VIIth Fertilizer world Congress, Vienna. 545-563.
- 9- Loehr, Raymond C. (1968) Pollution implications of animal wastes-a forward-oriented review U.S. Dept Interior. Fed Water Pollution Control Admin., Robert S. Kerr Water Res Center. Ada. Okla.
- 10- McCalla, T.M. and Boyce., J.C. (1969) In McCalla et al. (1970) Nebr. Exp Sta. Publ.
- 11- McCalla, T.M. and Viets, F.G. Jr. (1970) Nebr. Exp. Sta. Publ. In Press.
- 12- Midgley, A.R. and V.L. Weiser. (1937) vermont Agr. Exp. Sta. Bull. 419.
- 14- Salter, B.M. and Schollenber ger, c.j. (1940) Farm manure-part of the material appearing publis. U.S. Dept. Agri. P. 445-461.
- 15- Shutt, A. (1955) In "MaCalla et al (1970) Nebr Exp. Sta. Publ.
- 16- Waksman, Selman A. (1938) Humus: 2nd ed Baltimore. Williams and Wilkins.

فهرس المصطلحات العلمية

Accumulation of nitrogen	تجميع النايتروجين
Adsorption	امتزاز
Ammonification	عملية النشدة
Ammonium fixation	تثبيت الأمونيوم
Ammonium volatilization	تطاير الامونيا
Anaerobic : conditions	ظروف لاهوائية
Anhydrous ammonia	الامونيا غير المائية
Aqueous ammonia	الامونيا المائية
band application	طريقة التلقيم
Biotite	بايوتايت
Biuret	مادة البيوريت
broadcast apphication	طريقة النثر
التداخل بين الزنك وكاربونات الكالسيوم	
Calcium Carbonate-Zn interaction	
Calcium phosphate compounds	مركبات فوسفات الكالسيوم
Chlorapatite	كلوروأبتايت
Chlorite	كلورايت
Chlorapatite	كلوروأبتايت
Concentrated superphosphate fertilizer	سماد السوبرفوسفات المركز
Crystalline Compounds	مركبات بلورية
Crystale growth	نمو البلورة
Desorption	عملية الانطلاق
Degree of weathering	درجة التجوية
Dicalcium phosphate	فوسفات ثنائي الكالسيوم
Diocahedra mica	مايكا ثنائية الاوكتاهيدرا
E-position	مواقع عند الحواف
Exchangeable potassium	البوتاسيوم المتبادل
Fixation of phosphate	تثبيت الفسفور
Fluorapatite	فلوروأبتايت
Folair application	طريقة الرش

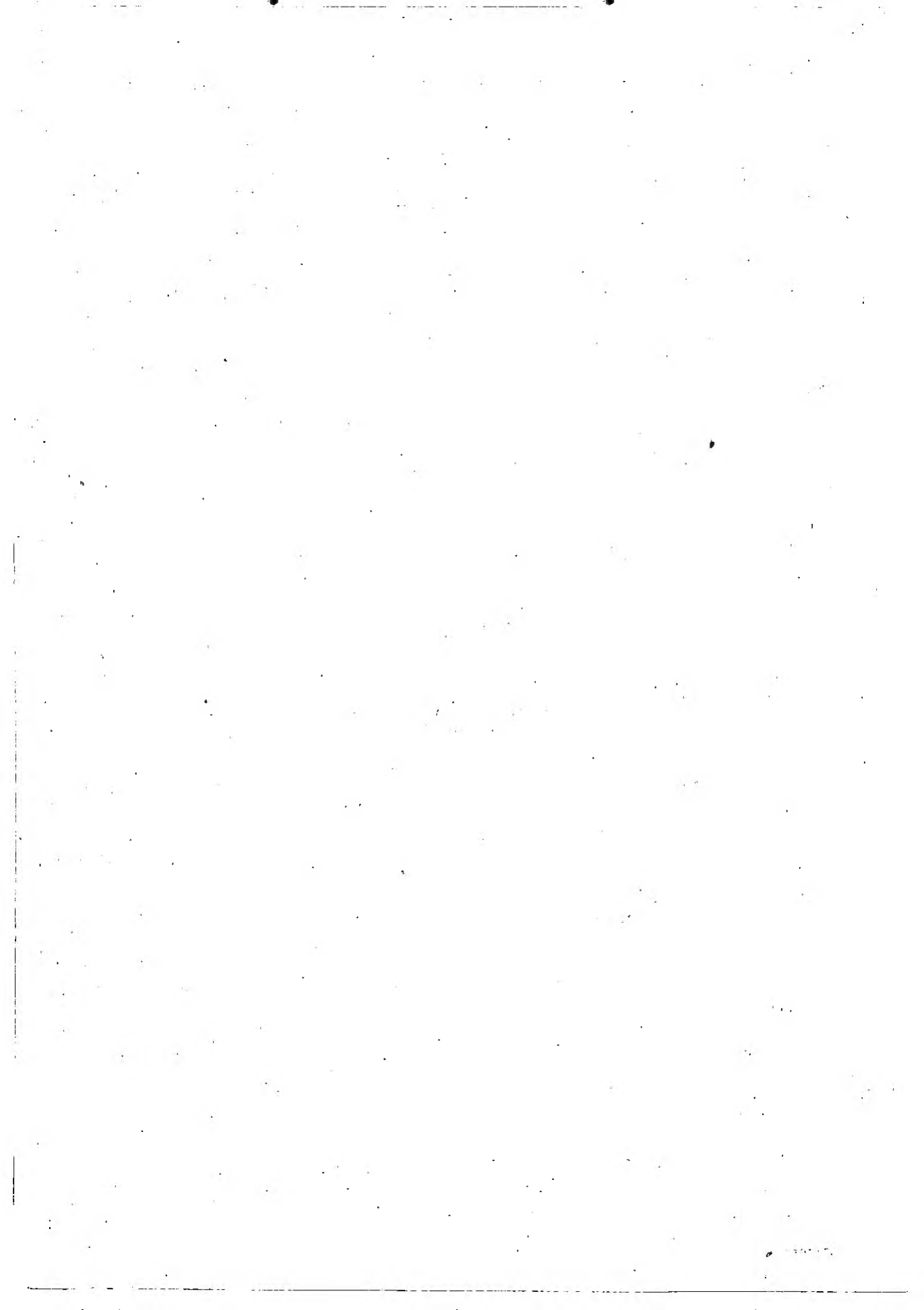
Fulvic acids	خوامض الفوليك
Gapon coefficient	معامل جايون
Humic acids	خوامض الدباليك
Hydroxyapatite	هايدروكسي أباتايت
Immobilization	التدهور
I-position	مواقع بين الطبقات
Inorganic sulfate	كبريت معدني
Iron & aluminium phosphate compounds	مركبات فوسفات الحديد والالمنيوم
Isomorphous substitution	الاحلال المتماثل
Limestone	صخر الكلس
Metastable triple point solution	الحلول غير المستقر
Mica	مايكا
Mineralization	عملية المعدنة
Montmorillonite	المونتموريلونايت
Mineral fertilizers	الاسمدة المعدنية
Nitrogen balance	الميزان النيتروجيني
Nitrogen cycle	دورة النيتروجين
Nitrogen Fertilizers	الاسمدة النيتروجينية
Nitrogen Fixation	تثبيت النيتروجين
Nitrogenase enzyme	انزيم النيتروجين
Non-exchangeable potassium	البوتاسيوم غير المتبادل
octahedral layer	طبقة الاوكتاهيد
Ordinary superphosphate fertilizer	سماد السوبر فوسفات العادي
Orthophosphoric acid	حامض الاورثوفوسفوريك
Oxidation-reduction processes	عمليات الاكسدة والاختزال
Parent material	مادة الاصل
P-forms in the labile pool	صور الفوسفور في الجزء غير المستقر
P-forms in the non-labile pool	صور الفوسفور في الجزء المستقر

Phosphorus acid	حامض الفسفوريك
P-position	مواقع على السطح
Reaction products	نواتج التفاعل
Sandstone	صخور رملية
Sea sediments	صخور رسوبية بحرية
Soil structure	تركيب التربة
Soluble potassium	البوتاسيوم الذائب
Stomata	الثغور
Strengite	السترنكايت
Speeific adsorption	الامتزاز النوعي
Sulphiote	الكبريتيد
Sulphideores	معادن كبريتيد
Super phosphate acid	حامض السوبر فوسفات
Tetrahedral layer	طبقة التترهيدرا
Tricalcium phosphate	فوسفات ثلاثي الكالسيوم
Trioctahedra mica	مايكا ثلاثية الاوكتاهيدرا
Tugor pressure	الضغط الانتفاخي للخلية
Urea	يوريا
Uric acid	حامض اليوريك
Variscite	معدن الفرسكايت

رقم الايداع في المكتبة الوطنية ببغداد ١١٠٠ لسنة ١٩٨٧

٧٨٨١ قسماً ۱۱۰۰ عامیہ قبیلہ قبائل و شاخہ املاک

مكتبة دار الكتب المطبعة والنشر
جامعة الموصل





مكتبة دار الكتب والخطبات العامة

باصفهان

